

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

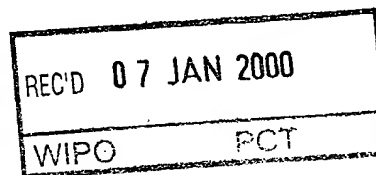
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

MODULARIO  
I.C.A. - 101

**09/830824**

**MINISTERO DELL'INDUSTRIA, DEL COMMERCIO E DELL'ARTIGIANATO**  
DIREZIONE GENERALE DELLA PRODUZIONE INDUSTRIALE  
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

EJU



IT 99 / 380

Autenticazione di copia di documenti relativi alla domanda di brevetto per .....

N. MI98A 002555

*Si dichiara che l'unita copia è conforme ai documenti originali  
depositati con la domanda di brevetto sopraspecificata, i cui dati  
risultano dall'accluso processo verbale di deposito*

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

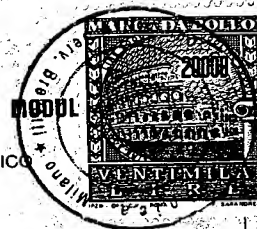
Roma, li 3 DIC. 1999

IL DIRETTORE DELLA DIVISIONE

# AL MINISTERO DELL'INDUSTRIA DEL COMMERCIO E DELL'ARTIGIANATO

UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI - ROMA

DOMANDA DI BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE, DEPOSITO RISERVE, ANTICIPATA ACCESSIBILITÀ AL PUBBLICO



## A. RICHIEDENTE (I)

1) Denominazione ITALTEL SPA codice 00737690156  
 Residenza MILANO  
 2) Denominazione \_\_\_\_\_ codice \_\_\_\_\_  
 Residenza \_\_\_\_\_

## B. RAPPRESENTANTE DEL RICHIEDENTE PRESSO L'U.I.B.M.

cognome nome GIUSTINI DELIO cod. fiscale \_\_\_\_\_  
 denominazione studio di appartenenza c/o Italtel spa - Ufficio Brevetti  
 via Cascina Castelletto n. \_\_\_\_\_ città SETTIMO MILANESE cap 20019 (prov) MI

## C. DOMICILIO ELETTIVO destinatario

via \_\_\_\_\_ n. \_\_\_\_\_ città \_\_\_\_\_ cap \_\_\_\_\_ (prov) \_\_\_\_\_

## D. TITOLO

classe proposta (sez/cl/sci) \_\_\_\_\_ gruppo/sottogruppo \_\_\_\_\_

METODO E DISPOSITIVO PER IL MULTIPLEXING STATISTICO IN TECNICA  
WEIGHTED FAIR QUEUING (WFQ) DI FLUSSI CHE CONVOGLIANO TRAFFICO  
ATM

## ANTICIPATA ACCESSIBILITÀ AL PUBBLICO:

SI ☐ NO ☐

SE ISTANZA: DATA \_\_\_\_\_

N° PROTOCOLLO \_\_\_\_\_

## E. INVENTORI DESIGNATI

cognome nome

cognome nome

1) CARDINI DARIO 3) PAGLINO ROBERTO  
 2) GALLINO ROBERTO 4) PASTORINO ALESSANDRO

## F. PRIORITÀ

nazione o organizzazione

tipo di priorità

numero di domanda

data di deposito

allegato  
S/R

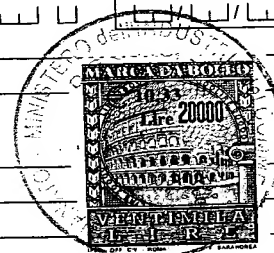
1) \_\_\_\_\_  
 2) \_\_\_\_\_

## SCIOGLIMENTO RISERVE

Data \_\_\_\_\_ N° Protocollo \_\_\_\_\_

## G. CENTRO ABILITATO DI RACCOLTA COLTURE DI MICROORGANISMI, denominazione

## H. ANNOTAZIONI SPECIALI



## DOCUMENTAZIONE ALLEGATA

N. es.

Doc. 1) 2 PROV n. pag. 51 riassunto con disegno principale, descrizione e rivendicazioni (obbligatorio 1 esemplare) .....  
 Doc. 2) 2 PROV n. tav. 14 disegno (obbligatorio se citato in descrizione, 1 esemplare) .....  
 Doc. 3) 1 RIS lettera d'incarico, procura o riferimento procura generale .....  
 Doc. 4) 0 RIS designazione inventore .....  
 Doc. 5) 0 RIS documenti di priorità con traduzione in italiano .....  
 Doc. 6) 0 RIS autorizzazione o atto di cessione .....  
 Doc. 7) 0 nominativo completo del richiedente

## SCIOGLIMENTO RISERVE

Data \_\_\_\_\_ N° Protocollo \_\_\_\_\_

confronta singole priorità  
 \_\_\_\_\_

8) attestati di versamento, totale lire Novecentoquindicimila= obbligatorio

COMPILATO IL 20/11/1998

FIRMA DEL(I) RICHIEDENTE(I)

Italtel spa

CONTINUA SI/NO NO

Il Mandatario  
Delio Giustini

DEL PRESENTE ATTO SI RICHIEDE COPIA AUTENTICA SI/NO SI

UFFICIO PROVINCIALE IND. COMM. ART. DI

MILANO

codice 15

VERBALE DI DEPOSITO

NUMERO DI DOMANDA

MI98A 002555

Reg. A.

L'anno millenovecento

NOVANTOTTO

il giorno

VENTICINQUE

del mese di

NOVEMBRE

il(i) richiedente(i) sopraindicato(i) ha(hanno) presentato a me sottoscritto la presente domanda, corredata di n.

100 fogli aggiuntivi per la concessione del brevetto sopraripartato.

## I. ANNOTAZIONI VARIE DELL'UFFICIALE ROGANTE

IL DEPOSITANTE

timbro  
dell'Ufficio

UFFICIALE ROGANTE

RIASSUNTO INVENZIONE CON DISEGNO PRINCIPALE, DESCRIZIONE E RIVENDICAZIONE

NUMERO DOMANDA

M198A002555

REG. A

DATA DI DEPOSITO

25/11/1998

NUMERO BREVETTO

DATA DI RILASCIO

/ /

## D. TITOLO

METODO E DISPOSITIVO PER IL MULTIPLEXING STATISTICO IN TECNICA  
WEIGHTED FAIR QUEUING (WFQ) DI FLUSSI CHE CONVOGLIANO TRAFFICO  
ATM

## L. RIASSUNTO

Viene descritto un multiplexer statistico di flussi trasmissivi che convogliano traffico ATM tra interfacce di linea e gli ingressi di una matrice di commutazione posta entro un nodo di rete, o viceversa. I suddetti flussi sopportano connessioni (Virtual Channel) che sottostanno a classi di servizio di diversa qualità, ad esempio, CBR, rt-VBR, ABR, nrt-VBR, e UBR. Ad alcuni singoli flussi (ABR) è garantita una banda minima nel flusso multiplato, ad altri (CBR) è garantita la banda di picco. È previsto un buffer per contenere delle code trasmissive di celle proveniente dai diversi flussi. Le code sono ripartite in blocchi funzionali. La banda disponibile sul flusso multiplato viene ripartita in modo dinamico tra i blocchi e tra le code di ciascun blocco mediante una tecnica di doppio WFQ. Ne discende un'architettura a doppio anello, per blocchi e code, ove ciascun anello ha un proprio blocco di WFQ seguito da uno Shaper e da uno Scheduler per limitare la cell-rate di picco di blocchi e code. Un solo calendario provvede a tutte le code (fig.9).

## M. DISEGNO

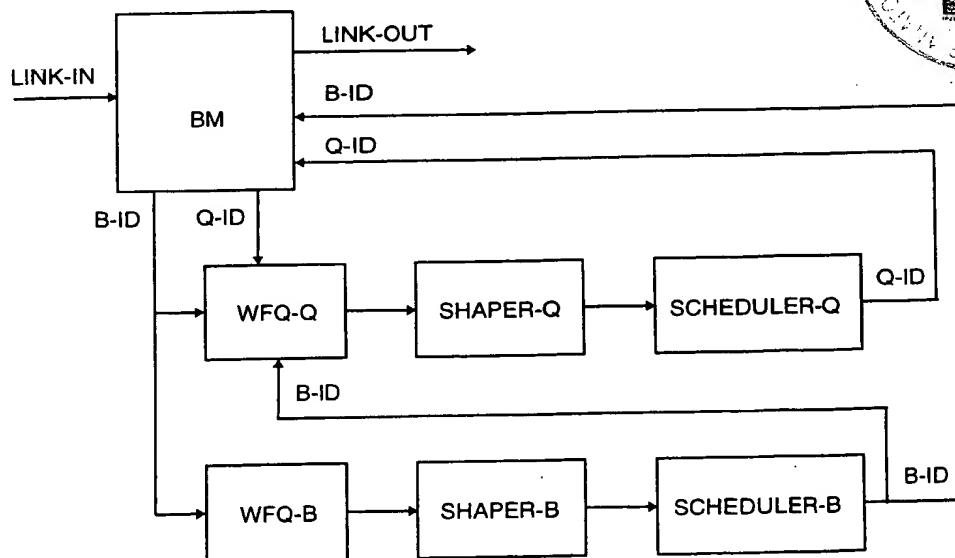


FIGURA 9

Italtel spa

Il Mandatario  
Delio Giustin

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale a nome:

ITALTEL SPA - MILANO

25 NOV. 1998

MI 9 8 A 0 0 2 5 5 5

Campo di applicazione dell'invenzione

La presente invenzione riguarda in generale sistemi di comunicazione che impiegano la tecnica numerica di commutazione veloce di celle, denominata ATM (Asynchronous Transfer Mode), utilizzata per il trasporto di segnali vocali, segnali video e dati.

Più in particolare, l'invenzione riguarda un metodo ed un dispositivo per il multiplexing statistico in tecnica Weighted Fair Queuing (WFQ) di flussi che convogliano traffico ATM.

La tecnica ATM assume un ruolo di importanza sempre maggiore nella commutazione integrata di flussi di segnali numerici appartenenti a servizi per la trasmissione di segnali vocali, video e dati, con requisiti di larghezza di banda diversi e caratteristiche di traffico differenziate.

La tecnica ATM prevede in particolare che le informazioni relative ai vari servizi siano organizzate in unità contigue con una lunghezza fissa di 424 bit (53 byte), denominate celle. Tali celle contengono, oltre ai dati veri e propri, un campo di intestazione (header) che porta tra l'altro le informazioni necessarie all'instradamento della cella stessa attraverso la rete geografica.

La rete di connessione, che ha il compito di commutare spazialmente le celle da una porta d'ingresso ad una porta d'uscita, deve essere in grado di smaltire elevati volumi di traffico, dell'ordine delle centinaia di Gbit/s.

L'introduzione di meccanismi di priorità di servizio sul flusso di celle ATM, siano essi rappresentati da singole connessioni o da insiemi di connessioni, si collega

al supporto nella rete di più classi di qualità del servizio (QoS).

La necessità di fornire garanzie per sorgenti sensibili al ritardo e, nello stesso tempo, il supporto ad applicazioni dati che, tollerando ritardi più elevati, possono utilizzare principi di allocazione statistica della banda, conduce all'esigenza di definire ed attuare opportuni schemi di integrazione nella rete. A questi si aggiunge la possibilità di introdurre classi di servizio a banda disponibile, o ABR, (Available Bit Rate) che permettono di utilizzare meglio le risorse di rete e di offrire, quindi, un servizio più economico agli utenti.

#### Rassegna dell'arte nota

L'articolo di Uwe Briem, Eugen Wallmeier, Christoph Beck, Fred Matthiesen, intitolato "TRAFFIC CONTROL FOR ATM SWITCH WITH PER VC QUEUING: CONCEPT AND IMPLEMENTATION", pubblicato a seguito dei Proceedings of XVI World Telecom Congress, anno 1997, descrive una particolare architettura dei multiplexer statistici abbinati ad uno switch ATM in grado di meglio soddisfare i summenzionati requisiti imposti dal Traffic Management. La fig.1 dell'articolo, coincidente con la fig.1 della presente domanda, illustra un'architettura comunemente riscontrata nei nodi di rete ATM e fornisce una base di partenza per lo sviluppo di concetti utili alla descrizione dell'attuale invenzione.

Con riferimento alla fig.1, notiamo dei blocchi LIC1, ..., LICr (Line Interface Cards) che rappresentano cartelle di una interfaccia di linea, ciascuna operante ad una propria bit-rate, organizzate in gruppi che canalizzano i rispettivi flussi verso gli ingressi di altrettanti multiplexer ATM, indicati con AMX1, ..., AMXk. Questi ultimi costituiscono delle interfacce interne ad alta velocità verso dei rispettivi multiplexer statistici, SMU1, ..., SMUK, che ricevono dei flussi d'ingresso LINK-IN e forniscono dei flussi uscenti LINK-OUT diretti verso gli ingressi di una matrice di commutazione ATM,

indicata con ASN (ATM Switching Network). Un discorso del tutto speculare vale per la sezione posta sul lato uscente di tale matrice. In tal caso i flussi uscenti dalla matrice ASN costituiscono altrettanti flussi d'ingresso LINK-IN per identici multiplexer statistici, SMU1, ..., SMUK, ed i flussi LINK-OUT uscenti da questi ultimi pervengono ai multiplexer ATM (demultiplexer) AMX1, ..., AMXk, ciascuno dei quali smista il traffico convogliato verso un rispettivo gruppo di Line Interface Cards, LIC1, ... LICr operanti a differenti bit-rate.

Nel funzionamento, si ipotizza che la matrice ASN sia autoinstradante e non bloccante. Come è noto, il compito principale dei multiplexer statistici è quello di organizzare il traffico in uscita sulla base della variabilità del traffico in ingresso, ripartendo dinamicamente tra le varie sessioni attive la banda disponibile sul link uscente, al preciso scopo di massimizzare il traffico complessivamente gestibile dalla matrice ASN, garantendo nel contempo alle varie sessioni la banda minima concordata nella fase di negoziazione del protocollo di Traffic Management. Queste finalità sono raggiunte attraverso una funzionalità di scheduling, mentre una funzionalità di shaping limita superiormente la banda delle varie connessioni, limitando la perdita di celle ATM dovute a congestione.

Per far fronte a queste necessità i multiplexer SMU possiedono dei buffer largamente dimensionati, e quindi in grado di trattare adeguatamente i canali che convogliano traffico non real-time (nrt), come ad esempio quello definito nelle classi di servizio nrt-VBR (nrt Variable Bit Rate), ABR (Available Bit Rate), ed UBR (Unspecified Bit Rate). Per contro, i canali che convogliano traffico real-time, come ad esempio quello definito nelle classi di servizio CBR (Constant Bit Rate) e rt-VBR non necessitano, ovviamente, di grandi buffer.

Le figg.2 e 3 della presente domanda sono schematizzazioni ad alto livello dei



multiplexer statistici SMU valide in generale. La fig.2 fornisce una schematizzazione funzionale che indica come le celle ATM che compongono un link d'ingresso LINK-IN vengano ripartite in n code trasmissive QU1, ..., QUn e memorizzate in un buffer gestito da una funzionalità di Buffer Managing BM. Ciascuna coda raggruppa celle provenienti da differenti flussi elementari che costituiscono altrettante connessioni entro la rete, supportate da rispettivi canali virtuali VC (Virtual Channel). Questi ultimi sono convenientemente ripartiti entro diversi percorsi trasmissivi virtuali VP (Virtual Path). Il raggruppamento dei VC per coda trasmissiva può avvenire in base a differenti criteri, ad esempio, a seconda della bit-rate dell'interfaccia di linea LIC, oppure a seconda del percorso VP entro la rete.



Fondamentale per l'esplicazione della suddetta funzionalità BM è il fatto di mantenere aggiornata la conoscenza delle locazioni di memoria delle n code e delle celle presenti in ciascuna coda. Allo scopo il Buffer Manager BM, ad ogni cella acquisita, aggiorna una tabella di indicatori, Q-ID1, ..., Q-IDn dell'indirizzo dell'ultima cella occupata in ciascuna coda di celle (supposta nota la modalità di impilamento entro la coda). Per compiere la suddetta operazione il blocco BM analizza l'identificativo della connessione presente nella parte Header della cella ATM, precisamente nei campi VC (Virtual Channel) e VP (Virtual Path), ed utilizza questa informazione per calcolare un indicatore Q-ID alla coda trasmissiva. L'acquisizione, o lo scarto, di una cella viene decisa sulla base della classe di traffico e del grado di occupazione della coda e del buffer complessivamente. In caso di accettazione, il BM richiede la scrittura della cella nel buffer e decide se l'indicatore Q-ID debba essere, o meno, memorizzato per le ulteriori funzionalità che terminano con il servizio della coda e la trasmissione della cella.

A valle del blocco BM è posto un blocco SORTER che esplica una funzionalità

di servizio, detta di Cell Scheduling, consistente nel selezionare opportunamente le celle ATM da porre sequenzialmente sul link d'uscita LINK-OUT. Molteplici sono gli algoritmi sviluppati per compiere la suddetta funzionalità, tra questi assume particolare rilievo ai fini dell'invenzione quello di Weighted Fair Queuing, detto in seguito WFQ.

La fig.3 mette in maggior rilievo l'impostazione circuitale dei multiplexer SMU di fig.2, verrà in seguito fornita una descrizione dei blocchi BM e SORTER dotata di un buon dettaglio circuitale.

Tornando all'articolo citato e precisamente alla fig.3, meglio esplicitata nella fig.4 della presente domanda, si può notare l'evoluzione tecnologica che subisce un singolo multiplexer statistico SMU rispetto alla generica rappresentazione funzionale di fig.2, indipendentemente dal fatto che esso sia posto all'ingresso o all'uscita della matrice di commutazione ASN di fig.1. Nella rappresentazione di fig.4, infatti, è evidente la netta separazione operata tra le code trasmissive che sostengono traffico real-time e le code che sostengono traffico non real-time. È pure evidente la presenza di una struttura modulare in cui le code logiche di celle QU di tipo non real-time, e le code dei relativi indicatori di coda Q-ID, sono raggruppate in m blocchi logici individuati da rispettivi indicatori B-ID1, ..., B-IDm, mentre le celle QU di tipo real-time vengono raggruppate in una sola coda (CBR) visibile all'estremità inferiore della figura.

Ciascun blocco B-ID include un proprio sotto-blocco SB (Scheduler Block) che espleta la funzionalità di scheduling sulle n code logiche Q-ID1, ..., Q-IDn del blocco stesso, e fornisce una sequenza di indicatori ad un ulteriore blocco di scheduling SBS (Scheduler Block Scheduler) comune a tutti i blocchi B-ID ed alla coda delle connessioni real-time. Lo scheduler SBS ricompone i due tipi di traffico nel flusso

uscente LINK-OUT.

Nel funzionamento, le code di celle ATM di ciascun blocco B-ID condividono una cell-rate configurabile e deterministica, in termini più espliciti questo significa che a ciascun blocco B-ID viene assegnata una banda fissa, eventualmente differente da blocco a blocco. I criteri di assegnazione delle code logiche ai singoli blocchi sono indicati nell'articolo citato. Per generare i servizi dei blocchi B-ID, lo scheduler SBS fa uso di un calendario in cui gli indicatori B-ID vengono continuamente inseriti ed estratti secondo un opportuno criterio noto. Analogamente, lo scheduler SB di un generico blocco B-ID genera i servizi delle singole code tramite l'ausilio di un calendario contenente gli indicatori Q-ID delle code appartenenti al blocco B-ID considerato. Quando un blocco viene servito, il relativo scheduler SB determina la coda avente diritto all'estrazione di una cella dal buffer. Come i calendari vengano utilizzati dipende dall'una, o dall'altra, di due modalità di scheduling previste, e precisamente la modalità detta di Rate Shaping per la limitazione della cell-rate di picco, e la modalità di WFQ per garantire alle singole connessioni non real-time la banda minima concordata nella fase di negoziazione del protocollo di Traffic Management.

Per quanto sopra, si può concludere che la struttura sopra evidenziata opera la suddivisione della banda tra code appartenenti a differenti blocchi logici mediante un insieme di  $m+1$  calendari fisicamente distinti ed organizzati in un doppio livello gerarchico. Questa architettura presenta le due seguenti limitazioni:

- Impossibilità di ripartire in modo dinamico la banda complessiva tra i blocchi, dato che a ciascun blocco compete una banda fissa, per cui eventuali "buchi trasmissivi" di un blocco non possono essere sfruttati dagli altri.
- Impossibilità di aumentare a piacimento il numero dei blocchi, poiché la realizzazione circuitale di un gran numero di scheduler BS (uno scheduler per blocco) con

meccanismo a calendario, che nelle applicazioni pratiche può assumere facilmente grosse dimensioni, trova un limite fissato dalla tecnologia dei circuiti integrati semi-custom.

- Necessità di dover effettuare una scansione del calendario di uno scheduler BS ad ogni tempo cella per determinare la coda di celle da servire, ciò comporta l'esecuzione di numerose operazioni in tempi brevi, richiedendo l'utilizzo di circuiti molto veloci e quindi costosi.

Le ultime due limitazioni dell'arte nota di fig.4 vengono in parte a cadere grazie ad una invenzione sviluppata nei laboratori della Richiedente, e già oggetto di una domanda di brevetto Italiana depositata con il numero MI97A 002147 in data 23-9-1997. Tale invenzione, schematizzata nelle figure 5 e 6, permette di ripartire in modo dinamico la banda tra le code trasmissive servite da un generico blocco di code mediante un'applicazione originale dell'algoritmo WFQ. Continua purtroppo a permanere l'impossibilità di ripartire dinamicamente la banda tra i blocchi.

La fig.5 illustra la disposizione funzionale dei blocchi di un multiplexer statistico realizzato secondo l'invenzione appena citata. Anche in questo caso le code trasmissive delle connessioni non real-time vengono ripartite in m blocchi funzionali indirizzati dagli indicatori di blocco B-ID1, ..., B-IDm; un'analoga ripartizione subiscono gli indicatori Q-ID alle singole code. Gli indicatori Q-ID destinati ad un generico blocco vengono quindi trattati da un blocco opzionale SHP/SKD che compie le funzionalità di shaping e di scheduling per limitare la banda di picco; dopodichè ad ogni nuova occorrenza di un indicatore, a seconda della tipologia della coda di celle a cui lo stesso è abbinato, viene inserito in una di tre liste FIFO (First In First Out), rispettivamente HP-FIFO, LP-FIFO, e VLP-FIFO, indicate in ordine di priorità di servizio. Per brevità è stata omessa l'indicazione di una flag (semaforo) posta al

servizio di una coda che raggruppa tutte le connessioni servite in real-time, che bypassano quindi la funzionalità di WFQ, ed occorre inoltre evidenziare che le liste VLP-FIFO sono opzionali. Le FIFO vengono utilizzate per esplicitare la funzionalità di WFQ nel modo in cui recita la rivendicazione 1 che viene qui di seguito riprodotta:

"Metodo per la gestione di risorse in tecnica ATM per applicazioni Weighted Fair Queuing in un sistema per la trasmissione su di un link di uscita di flussi di celle ATM provenienti da un link in ingresso appartenenti a classi di servizio a diversa qualità, ad almeno alcuni di detti flussi essendo associata una rispettiva banda minima garantita assegnata in fase di instaurazione del servizio, ed essendo assicurata a ciascuno di detti flussi di celle la possibilità di fruire di ulteriore banda eventualmente disponibile su detto link di uscita, caratterizzato dal fatto di assegnare a ciascuno di detti flussi, in un periodo di rinnovo multiplo intero del tempo di trasmissione di una cella su detto link in uscita, un rispettivo numero di diritti di accesso a detto link di uscita, o token, proporzionale a detta banda minima, e, per ciascun periodo di rinnovo, di comprendere le seguenti fasi di:

- inserire le celle di ciascuno di detti flussi in una rispettiva coda trasmissiva;
- assegnare a ciascuna di dette code trasmissive il proprio numero di token;
- inserire indicatori di dette code trasmissive all'interno di una struttura di memorizzazione ad alta priorità;
- scandire detta struttura di memorizzazione ad alta priorità servendo le code trasmissive via via indicate decrementando i token a loro disposizione e trasferendo gli indicatori delle code che hanno esaurito i propri token all'interno di una struttura di memorizzazione a bassa priorità;
- una volta terminata la scansione di detta struttura di memorizzazione ad alta priorità, scandire detta struttura di memorizzazione a bassa priorità servendo le code da essa



indicate fino alla fine del periodo di rinnovo".

Come si può notare, non traspare affatto dal tenore della rivendicazione la possibilità di suddividere le code di celle in blocchi funzionali. Nel testo questa possibilità è data per scontata, in quanto solo vagamente accennata. In ogni caso manca del tutto la descrizione dei mezzi che distribuiscono il servizio tra i diversi blocchi B-ID, ed il lettore può quindi ragionevolmente supporre che essi siano implicitamente analoghi a quelli fino ad allora noti, ovvero del tipo del blocco SBS di fig.4. Quest'ultimo è rappresentato in fig.5 da un blocco SHP/SKD che riceve allo scopo gli indicatori B-ID.

La fig.6 mette in evidenza l'aspetto più propriamente sistemistico del multiplexer statistico rappresentato funzionalmente in fig.5; questa figura costituisce un punto di riferimento per il confronto con successive analoghe figure che illustreranno l'invenzione oggetto della presente domanda, e di alcune varianti. Come si può notare, il buffer manager BM fornisce gli indicatori di blocco B-ID e di coda Q-ID al blocco SHP/SKD-Q, ed il solo indicatore di blocco B-ID al blocco SHP/SKD-B. Questi due blocchi, come detto, compiono le funzionalità di shaping e scheduling per il servizio fornito ai blocchi (SHP/SKD-B) ed alle code all'interno dei blocchi (SHP/SKD-Q). Gli indicatori Q-ID estratti dal blocco SHP/SKD-Q vengono di volta in volta scritti in una delle tre FIFO (fig.5) di un corrispondente gruppo di FIFO incluse in un blocco WFQ-Q, che compie la suddetta funzionalità di WFQ servendosi di un indicatore B-ID estratto dal blocco SHP/SKD-B per indirizzare il gruppo di FIFO servito. Gli indicatori Q-ID estratti dal blocco WFQ-Q vengono da ultimo forniti al blocco BM per completare la funzionalità di servizio sul link di uscita LINK-OUT.

L'esame delle figg.5 e 6 mette in chiara luce la limitazione residua della sopra citata invenzione, dovuta al fatto che manca una funzionalità che consenta di variare

dinamicamente la banda assegnata ai blocchi identificati dagli indicatori B-ID. Qualora poi, come nella pratica avviene, i blocchi opzionali SHP/SKD siano effettivamente presenti, tornano in parte a sussistere anche le limitazioni dell'arte nota di fig.4, altrimenti superate, in quanto viene riproposta la stessa architettura ad  $m+1$  calendari.

#### Scopi dell'invenzione

Pertanto scopo della presente invenzione è quello di superare gli inconvenienti dei multiplexer statistici per applicazioni ATM realizzati mediante una struttura a blocchi funzionali di code di celle secondo l'arte nota. Più precisamente, l'invenzione si prefigge di superare, in primo luogo, la limitazione dovuta all'incapacità di ripartire in modo dinamico la banda disponibile tra i blocchi, onde meglio sopperire alle esigenze del traffico reale, ed in secondo luogo le limitazioni tipiche delle strutture ad array di scheduler, ovvero la loro difficoltà realizzativa.

Altro scopo della presente invenzione è quello di indicare un metodo per il multiplexing statistico in tecnica ATM che consenta di sfruttare al meglio la banda disponibile senza creare congestione e riducendo drasticamente il numero complessivo di operazioni necessarie al raggiungimento di queste finalità.

#### Sommario dell'invenzione

Per conseguire tali scopi la presente invenzione ha per oggetto un metodo di multiplexing statistico di flussi di celle ATM originati da connessioni aventi classi di servizio di diversa qualità, detti flussi generando code trasmissive di celle ripartite entro blocchi funzionali, e ad almeno alcuni di detti flussi essendo assegnata una banda minima garantita sul flusso multiplato e la possibilità di ripartire una banda residua eventualmente disponibile sullo stesso flusso mediante una funzionalità nota, detta in seguito di Weighted Fair Queuing, o WFQ, che assegna dinamicamente opportune quantità di gettoni, valutate su base statistica, a delle singole code

Italtel spa  
Il Mandatario  
Delfo Cusiuni

trasmissive, che spendono detti gettoni per accedere alla banda residua sul flusso multiplato (LINK-OUT), caratterizzato dal fatto che detta funzionalità di WFQ comprende delle fasi di assegnazione dinamica di opportune quantità di gettoni, valutate su base statistica, anche ai detti blocchi funzionali, che spendono detti gettoni per consentire alle proprie code trasmissive di accedere alla ripartizione della banda residua sul flusso multiplato (LINK-OUT), ripartendo in tal modo tra i detti blocchi funzionali la banda residua sul flusso multiplato, come anche descritto nella rivendicazione 1.

Altro oggetto d'invenzione è un metodo di multiplexing statistico che possiede tutte le caratteristiche del metodo descritto nella rivendicazione 1, e l'ulteriore caratteristica di compiere ad ogni tempo cella:

- una prima schedulazione degli intervalli di emissione di indicatori dei blocchi funzionali da servire, atta a dilatare detti intervalli per limitare la banda di picco cumulativa del gruppo di code di celle appartenenti ai blocchi serviti;
- una seconda schedulazione degli intervalli di emissione di indicatori delle code trasmissive da servire, atta a dilatare detti intervalli per limitare la banda di picco delle code servite, come descritto in una rivendicazione dipendente di metodo.

Altro oggetto d'invenzione è un multiplexer statistico che attua il metodo descritto nella rivendicazione 1, come descritto nella rivendicazione indipendente 13.

Altro oggetto d'invenzione è un multiplexer statistico che possiede tutti i mezzi del multiplexer della rivendicazione 13, ed ulteriori mezzi di schedulazione degli intervalli di servizio dei blocchi funzionali e delle relative code trasmissive, come descritto in una rivendicazione dipendente di dispositivo.

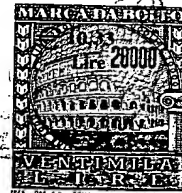
Ulteriori oggetti d'invenzione sono delle varianti di metodo e di dispositivo, come risultano dalle rispettive rivendicazioni dipendenti.



Vantaggi dell'invenzione

Un primo notevole vantaggio della presente invenzione è dovuto al fatto che l'applicazione dell'algoritmo WFQ sia a livello blocco che a livello code permette di estendere la ripartizione dinamica della banda anche al livello dei blocchi, consentendo di sfruttare in modo ottimale le risorse trasmissive. Ciò posto, un ulteriore vantaggio che ne deriva è conseguibile raggruppando tutte le connessioni delle classi di servizio real-time di un blocco, ad esempio CBR, ponendole in una coda ad alta priorità all'interno del blocco stesso. In tal modo l'algoritmo WFQ applicato alle code del blocco considerato garantisce la minimizzazione della variazione del ritardo di cella, o CDV (Cell Delay Variation), causato alle connessioni CBR dalle altre connessioni appartenenti al blocco. Il ritardo delle connessioni CBR è però influenzato dal ritardo nel servizio del blocco a cui appartengono. Qualora la scelta dei parametri del sistema renda questa dipendenza un problema, è possibile raggruppare le connessioni CBR di tutti i blocchi in un unico blocco ad alta priorità ad esse dedicato. Come si nota, l'invenzione consente di creare in modo estremamente naturale due differenti livelli di bypass, particolarmente adatti al trattamento di flussi trasmissivi real-time.

Un secondo notevole vantaggio del multiplexer statistico della presente invenzione è che esso necessita solamente di due calendari per effettuare il controllo della banda di picco, sia a livello blocco che a livello coda, limitando la banda ad entrambi i livelli della gerarchia logica. Un primo calendario è per i blocchi, ed un secondo per le code; quest'ultimo è messo a disposizione delle code dei blocchi di volta in volta selezionati. Per cui, rispetto alle architetture dell'arte nota che replicano i calendari tante volte quante sono i blocchi, la logica necessaria per realizzare il controllo della rate di picco subisce una drastica riduzione di complessità. Ne



conseguo, a parità di numero di porte del multiplexer statistico, una diminuzione delle dimensioni dei circuiti integrati che realizzano i calendari ed una conseguente riduzione dei costi di produzione. Inoltre, la rimozione del vincolo tecnologico sul numero massimo dei blocchi imposto dalla replica dei calendari, rende possibile la costruzione di sistemi con un numero di porte considerevolmente maggiore di quello attualmente possibile, che si aggira intorno al centinaio. L'architettura del multiplexer statistico secondo la presente invenzione consente di imporre la limitazione del picco in modo selettivo, poiché possono sussistere code alle quali viene applicato l'algoritmo di WFQ puro, cioè con rate di picco non limitata, e code superiormente limitate in banda. Questa proprietà, che vale anche per i blocchi, può essere ottenuta mediante configurazione di opportuni parametri via software.

#### Breve descrizione delle figure

Ulteriori scopi e vantaggi della presente invenzione risulteranno chiari dalla descrizione particolareggiata che segue di un esempio di realizzazione della stessa e dai disegni annessi dati a puro titolo esplicativo e non limitativo, in cui:

- in fig.1 è indicata un'architettura comunemente riscontrata nei nodi di rete ATM;
- nelle figg.2 e 3 sono indicate delle schematizzazioni ad alto livello dei multiplexer statistici SMU di fig.1 valide in generale;
- in fig.4 è indicata una schematizzazione funzionale del blocco SMU di fig.2, riferito all'arte nota;
- in fig.5 è indicata un'ulteriore schematizzazione funzionale del blocco SMU di fig.2, come risulta da una precedente domanda di brevetto della stessa Richiedente;
- in fig.6 è indicato un diagramma a blocchi funzionali del blocco SMU di fig.3 quando vale la schematizzazione funzionale di fig.5;
- in fig.7 è indicata una schematizzazione funzionale del blocco SMU di fig.2 realizzato

secondo la presente invenzione;

- in fig.8 è indicata una schematizzazione funzionale di un blocco SHP/SKD di fig.7;
- in fig.9 è indicato un diagramma a blocchi funzionali del blocco SMU di fig.3 quando

vale la schematizzazione funzionale di fig.7 secondo l'invenzione;

- in fig.10 è indicata una schematizzazione circuitale di un blocco BM di fig.9;
- in fig.11 è indicata una schematizzazione circuitale valida per entrambi i blocchi WFQ-Q e WFQ-B di fig.9;
- in fig.12 è indicato in dettaglio un generico blocco TK-CNTj ed un secondo blocco TK-CNT-B di fig.11;
- nelle figure da 13 a 16 sono indicati dei diagrammi di flusso che schematizzano il funzionamento del blocco WFQ-B di fig.9;
- in fig.17 è indicato un diagramma a blocchi funzionali di una variante della rappresentazione a blocchi di fig.9;
- in fig.18 è indicato un diagramma di flusso che schematizza il funzionamento secondo la variante di fig.17; e
- nelle figg.19 e 20 sono indicati dei diagrammi a blocchi funzionali di ulteriori varianti della rappresentazione a blocchi di fig.9.

#### Descrizione dettagliata di alcune forme preferite di realizzazione dell'invenzione

Con riferimento alla fig.7, viene ora descritto il multiplexer statistico oggetto della presente invenzione. Rispetto alla descrizione generale di fig.2, le code trasmissive di celle QU che raggruppano diverse connessioni, vengono qui ripartite in m blocchi funzionali indirizzati dagli indicatori di blocco B-ID1, ..., B-IDm; un'analoga ripartizione subiscono gli indicatori Q-ID alle singole code trasmissive.

In fig.7 si possono notare due apparentemente distinte funzionalità di WFQ,

una prima per il trattamento degli indicatori B-ID, ed una seconda per il trattamento degli indicatori Q-ID. Ad ogni occorrenza di una cella viene generata una coppia di indicatori, B-ID e Q-ID. L'indicatore B-ID, a seconda del tipo di ripartizione prefissata tra code trasmissive di celle ATM e blocchi, viene, qualora assente, inserito in una di tre liste FIFO, rispettivamente indicate in ordine di priorità di servizio con HP-FIFO, LP-FIFO, e VLP-FIFO. L'indicatore Q-ID, a seconda della natura della coda a cui lo stesso è abbinato, viene, qualora assente, inserito in analoghe liste FIFO abbinate al blocco individuato dall'indicatore B-ID corrispondente. I due gruppi di FIFO vengono "singolarmente" utilizzati per esplicitare la funzionalità di WFQ in un modo simile a quello descritto, per le sole code trasmissive, nella citata domanda di brevetto a nome della stessa Richiedente. Gli indicatori B-ID selezionati dalla prima funzionalità di WFQ vengono quindi trattati da un blocco SHP/SKD che compie le funzionalità di shaping e di scheduling per limitare la banda di picco dell'insieme di code trasmissive assegnate al generico blocco, dopodichè gli indicatori B-ID di volta in volta schedulati vengono messi a disposizione della seconda funzionalità di WFQ per la selezione del gruppo di tre FIFO da servire. Analogamente a quanto fatto per gli indicatori B-ID, gli indicatori Q-ID forniti dalla seconda funzionalità di WFQ vengono trattati da un blocco SHP/SKD che compie le funzionalità di shaping e di scheduling per limitare la banda di picco dei flussi multiplati.

Occorre inoltre evidenziare che le liste VLP-FIFO sono opzionali, come pure i blocchi SHP/SKD.

In una prima variante realizzativa della presente invenzione è prevista una flag di coda vuota posta al servizio di una coda che raggruppa tutte le connessioni che trasmettono alla rate di picco (CBR e rt-VBR) di un generico blocco indirizzato da B-ID, e che necessitano quindi di essere servite in real-time. L'indicazione di tale flag

nelle figure finora illustrate è stata omessa, per brevità.

In una seconda variante realizzativa tutte le connessioni che trasmettono alla rate di picco di tutti i blocchi sono raggruppate in un unico blocco ad alta priorità ad esse dedicato, in questo caso ambedue le funzionalità di WFQ vengono scavalcate e l'indicatore Q-ID viene direttamente fornito al relativo blocco SHP/SKD per la sua schedulazione e l'inserimento prioritario della cella sul link d'uscita. Manca anche in questo caso, nelle figure finora illustrate, l'indicazione della flag di coda vuota associata all'unica coda che raggruppa tutte le celle ATM delle connessioni real-time di tutti i blocchi.



Con riferimento alla fig.8, si può notare che il generico blocco SHP/SKD, sia esso al servizio delle code trasmissive indicate da Q-ID, che da B-ID, comprende un blocco SHAPER-Q (SHAPER-B), che compie una funzionalità di shaping, posto a monte di un blocco SCHEDULER-Q (SCHEDULER-B), che a sua volta compie una funzionalità di scheduling. La funzionalità di shaping calcola un tempo di attesa, al limite nullo, e converte l'informazione in un valore N-SLOT-Q (N-SLOT-B) che rappresenta uno slot di un calendario avente lunghezza finita (indicato in figura) incluso nel blocco SCHEDULER-Q (SCHEDULER-B). L'indicatore Q-ID (B-ID) che perviene allo shaper ed il valore N-SLOT-Q (N-SLOT-B) calcolato dallo shaper vengono trasferiti alla funzionalità di scheduling che inserisce l'indicatore Q-ID (B-ID) nella locazione del calendario indicata da N-SLOT-Q (N-SLOT-B). La funzionalità di scheduling provvede alla scansione ciclica del calendario con cadenza  $1/T_c$ , dove  $T_c$  è il generico tempo cella, ovvero l'intervallo temporale necessario alla trasmissione seriale sul link di tutti i bit della cella. Ad ogni locazione scandita vengono estratti dal calendario, su base FIFO, gli indicatori ivi memorizzati. In figura TNOW rappresenta il tempo cella attuale, ovvero il tempo multiplo di  $T_c$  intercorso dall'inizio del ciclo di

scansione. Il tempo TNOW indica in figura una locazione vuota, mentre il tempo TV indica una precedente locazione di calendario.

La funzionalità di shaping consiste nel limitare superiormente la banda di code e blocchi. Per questa ragione effettua il calcolo del tempo di inserimento di Q-ID secondo la seguente legge:

$$\text{TEMPO DI INSERIMENTO} = \max[\text{PRECEDENTE}(\text{N\_SLOT\_Q} \times \text{Tc}) + 1/\text{PCR}, \text{TNOW}],$$

dove PRECEDENTE(N\_SLOT\_Q) indica la locazione del calendario nella quale l'indicatore Q-ID era stato inserito l'ultima volta, e PCR (Peak Cell Rate) è la cadenza di picco della coda indicata da Q-ID. La stessa legge è valida per i blocchi a patto di sostituire N\_SLOT-Q con N\_SLOT-B e di definire un rate di picco PCR per ciascun blocco. La configurazione dei parametri PCR nei blocchi SHAPER\_Q e SHAPER\_B viene fatta via software. In conseguenza della legge d'inserzione sopra indicata, la scansione del calendario provvederà a ritardare opportunamente l'emissione degli indicatori di code e/o blocchi, facendo in modo che gli stessi non vengano serviti troppo rapidamente violando così la banda ad essi assegnata.

Con riferimento alla fig.9, si può notare come la rappresentazione sistemistica ivi raffigurata differisca da quella dell'arte nota di fig.6 per quanto segue:

- la presenza di un blocco WFQ-B posto immediatamente a monte del blocco SHP/SKD-B, qui separato nelle sue componenti SHAPER-B e SCHEDULER-B;
- il blocco WFQ-Q è posto a monte del blocco SHP/SKD-Q, qui separato nelle sue componenti SHAPER-Q e SCHEDULER-Q;
- l'indicatore B-ID uscente dal blocco SCHEDULER-B viene anch'esso fornito al buffer manager BM alla stregua di Q-ID.

Il diagramma a blocchi funzionali di fig.9 mette in luce la presenza di due anelli

di percorrenza degli indicatori. L'anello più interno viene percorso dagli indicatori Q-ID che partono dal blocco BM e attraversano nell'ordine: WFQ-Q, SHAPER-Q, SCHEDULER-Q, e ritornano al blocco BM di partenza. L'anello più esterno viene percorso dagli indicatori B-ID che partono dal blocco BM e attraversano nell'ordine: WFQ-B, SHAPER-B, SCHEDULER-B, e ritornano al blocco BM di partenza.. Il secondo anello interagisce con il primo a livello del blocco WFQ-Q. Il riferimento agli anelli ha un valore più che altro descrittivo.

Con riferimento alla fig.10, viene ora illustrata a livello generale l'architettura circuitale del buffer manager BM di fig.9. Come si può notare in figura, il blocco BM include i seguenti sottoblocchi: un controllore della funzionalità di accesso ACC-CONTR, un controllore della funzionalità di servizio SER-CONTR, un contatore CODE-CONT associato alle code trasmissive, un buffer delle code trasmissive BUF-CEL, un convertitore serie/parallelo S/P, un convertitore parallelo/serie P/S, ed infine un distributore SYNC del clock di rete CK. I blocchi controllori ed il buffer delle celle comunicano con un bus dati bidirezionale BUS-DATI, un bus indirizzi BUS-IND, e delle linee di controllo. Il link d'ingresso LINK-IN perviene al convertitore S/P e da qui ad un ingresso del blocco ACC-CONTR, mentre il segnale uscente dal blocco SER-CONTR perviene al convertitore P/S per l'immissione sul link d'uscita LINK-OUT. Il blocco ACC-CONTR invia un primo segnale di abilitazione alla scrittura WR-EN al buffer BUF-CEL per la scrittura di una cella ATM, ed un secondo segnale WR-EN-P ad una unità WFQ-CONTR di esecuzione dell'algoritmo di WFQ (visibile in fig.11) per la scrittura dei puntatori B-ID e/o Q-ID associati alla cella relativa, di un valore TR-TYPE che caratterizza il tipo di traffico sostenuto dalla connessione cui la cella appartiene, e di un primo e/o un secondo valore di conteggio VAL-CNT di due contatori rispettivamente associati alla coda che ospita la cella ed al blocco che ospita

la coda. Il blocco SER-CONTR invia un segnale di abilitazione alla lettura RD-EN al blocco BUF-CEL. Il contatore CODE-CONT riceve dal blocco ACC-CONTR un segnale INCR-CONT per l'incremento del conteggio ed un segnale LEGGI-CONT per la lettura del conteggio, e dal blocco SER-CONTR un segnale di decremento del conteggio DECR-CONT. In risposta al segnale LEGGI-CONT il contatore fornisce il dato letto VAL-CNT. Il blocco SER-CONTR riceve in ingresso due tipologie di puntatori (indicatori) B-ID e Q-ID provenienti dai blocchi WFQ-Q e WFQ-B (fig.9), oppure dai blocchi SCHEDULER-Q e SCHEDULER-B (fig.9) nel caso questi due ultimi blocchi non siano opzionali.

Prima di illustrare il funzionamento del buffer manager BM, per altro già in buona parte anticipato nell'introduzione, conviene descrivere le figg.11 e 12 e poi accomunarle alla fig.10 nel funzionamento.

Con riferimento alla fig.11, viene ora illustrata a livello generale l'architettura circuitale dei blocchi WFQ-Q e WFQ-B di fig.9. Come si può notare, e senza alcuna limitazione per l'invenzione, l'architettura è riferita al caso di controllo dei due blocchi WFQ-Q e WFQ-B mediante un'unica unità di esecuzione dell'algoritmo WFQ indicata con WFQ-CONTR. La suddetta unità è connessa al bus dati ed al bus indirizzi del buffer manager BM e riceve dal blocco ACC-CONTR un segnale di abilitazione alla scrittura WR-EN-P. L'unità WFQ-CONTR comunica con i blocchi WFQ-Q e WFQ-B mediante un bus interno BUS-DATI-WFQ ed invia ai suddetti blocchi i segnali di lettura/scrittura, ottenuti dalla decodifica dell'informazione ricevuta sul bus indirizzi BUS-IND o generati autonomamente. I segnali inviati al blocco WFQ-Q sono i seguenti:

- W/R-ENH1, ..., W/R-ENHm; W/R-ENL1, ..., W/R-ENLm; W/R-ENV1, ..., W/R-ENVm;
- W/R-ENQ1, ..., W/R-ENQm;



- W/R-ENR1, ..., W/R-ENRm.

I segnali inviati al blocco WFQ-B sono i seguenti:

- W/R-ENH-B; W/R-ENL-B; W/R-ENV-B;
- W/R-ENB e W/R-ENR-B.

Il blocco WFQ-Q comprende m gruppi B1, ..., Bm, ciascuno di tre memorie FIFO, HP-FIFO, LP-FIFO, e VLP-FIFO. Il blocco WFQ-B comprende invece un solo gruppo di memorie FIFO. Il blocco WFQ-Q comprende inoltre m flag RT-FLAG ed m contatori TK-CNT1, ..., TK-CNTm, la cui funzione verrà chiarita in seguito, mentre il blocco WFQ-B include una sola flag RT-FLAG ed un solo contatore TK-CNT-B. All'interno del blocco WFQ-Q i segnali di lettura/scrittura W/R-ENH pervengono alle memorie HP-FIFO, i segnali W/R-ENL alle memorie LP-FIFO, i segnali W/R-ENV alle memorie VLP-FIFO, i segnali W/R-ENR alle flag RT-FLAG, ed i segnali W/R-ENQ ai contatori TK-CN nell'ordine numerale corrispondente. All'interno del blocco WFQ-B i segnali di lettura/scrittura W/R-ENH-B, W/R-ENL-B, W/R-ENV-B pervengono rispettivamente alle memorie HP-FIFO, LP-FIFO, VLP-FIFO, il segnale W/R-ENR-B alla flag RT-FLAG, ed il segnale W/R-ENB al contatore TK-CNT-B. L'unità WFQ-CONTR pone sul bus dati interno BUS-DATI-WFQ i puntatori B-ID e Q-ID, i valori da scrivere, o letti, nelle flag RT-FLAG e nei contatori TK-CNT selezionati ad ogni tempo cella mediante lo svolgimento della funzionalità di WFQ.

Con riferimento alla fig.12, è illustrato il formato del j-esimo contatore TK-CNTj tra i contatori TK-CNT1, ..., TK-CNTm del blocco WFQ-Q, e del contatore TK-CNT-B del blocco WFQ-B. È utile premettere che per le n code all'interno di un blocco vale la relazione:  $z + s = n$ , dove z è il numero di connessioni ABR, ed s è il numero di connessioni non-ABR. Il contatore TK-CNTj è una struttura di memoria comprendente z campi, N°TOK(QU1), ..., N°TOK(QUz), ciascuno contenente un numero di "token",

cioè gettoni, a disposizione di ciascuna coda trasmissiva QU1,...QUz appartenente al generico blocco Bj. Similmente, il contatore TK-CNT-B comprende m campi, N°TOK(B1),..., N°TOK(Bm), ciascuno contenente un numero di token a disposizione di un corrispondente blocco B1, ..., Bm.

Nel funzionamento, vale per il blocco BM quanto era stato detto a riguardo della fig.2, a cui si rimanda, con l'accortezza che agli unici puntatori Q-ID si aggiungono ora i puntatori di blocco B-ID. La precedente illustrazione svolta in fig.2, data l'estrema generalità di quella figura, non era esauriente circa il destino dei puntatori. Questa lacuna viene ora colmata, grazie anche a quanto detto in merito alla funzionalità di WFQ di fig.5. Ciò posto il blocco BM compie la funzionalità di accesso e termina quella di servizio, essenzialmente svolta dall'unità WFQ-CONTR. Il trasferimento di un puntatore Q-ID dal blocco di controllo ACC-CONTR all'unità WFQ-CONTR è necessaria qualora nel buffer BUF-CEL non sia già presente almeno una cella appartenente alla coda considerata. Questa informazione è contenuta in appositi contatori di coda inclusi nel blocco di conteggio CODE-CNT, ciascuno dei quali indica il numero di celle appartenenti ad una rispettiva coda presente nel buffer BUF-CEL. I contatori vengono aggiornati dai segnali INCR-CNT e DECR-CNT, rispettivamente ad ogni accettazione e servizio della coda in esame. Il trasferimento di B-ID è necessario qualora nel buffer BUF-CEL non sia già presente almeno una cella appartenente ad una coda trasmissiva assegnata al blocco considerato. Tale informazione viene ricavata da contatori di blocco inclusi nel blocco CODE-CNT, il cui significato relativamente ai blocchi è analogo a quello dei contatori di coda relativamente alle code. L'eventuale trasferimento di B-ID e/o Q-ID è completato con l'informazione di traffic type TR-TYPE. Più nello specifico, esistono tre possibili valori

di traffic type che danno luogo ad altrettante destinazioni nel trasferimento dei puntatori Q-ID:

- HPT (High Priority Traffic): il puntatore Q-ID viene inserito in una rispettiva memoria HP-FIFO ad alta priorità del WFQ-Q, così da garantire la sua estrazione privilegiata rendendo minimo il tempo di permanenza nelle FIFO dei blocchi WFQ-Q. Una coda caratterizzata da un valore di traffic type pari a HPT è adatta a contenere connessioni CBR o rt-VBR.
- LPT (Low Priority Traffic): il puntatore Q-ID viene inserito in una rispettiva memoria LP-FIFO a bassa priorità del WFQ-Q finché ha token disponibili; una volta esauriti i permessi, il puntatore viene inserito in una memoria VLP-FIFO a bassissima priorità. Una coda caratterizzata da un valore di traffic type pari a LPT è adatta a contenere connessioni nrt-VBR del tipo ABR (a banda disponibile). Questo valore di traffic type permette di garantire una banda minima alle code che caratterizza.
- VLPT (Very Low Priority Traffic): il puntatore Q-ID viene inserito in una rispettiva memoria VLP-FIFO a bassissima priorità del WFQ-Q. Una memoria VLP-FIFO è servita soltanto quando le corrispondenti FIFO a maggiore priorità sono vuote. Una coda caratterizzata da un valore di traffic type pari a VLPT è adatta a contenere connessioni di tipo UBR, per cui non è garantita una banda minima.

Per quanto invece concerne la suddivisione dei puntatori B-ID entro le memorie HP-FIFO, LP-FIFO, e VLP-FIFO del blocco WFQ-B, la situazione non è così ben delineata come invece nel caso dei puntatori Q-ID alle singole code. Dovendo infatti decidere in quale FIFO memorizzare un puntatore Q-ID basta solo conoscere la tipologia della coda a cui esso è associato, l'informazione è fornita dal parametro traffic-type. La distinzione tra flussi a banda minima non garantita e flussi a banda

minima garantita consente quindi di assegnare i secondi alla LP-FIFO il cui servizio comporta la gestione dei token. In un blocco, invece, convivono diverse tipologie di code per quanto concerne la classe di servizio. Occorre quindi stabilire un criterio per ripartire i puntatori B-ID tra le tre FIFO del blocco WFQ-B. Un primo criterio potrebbe essere quello di suddividere i blocchi (e quindi i loro puntatori B-ID) in tre gruppi di uguale banda aggregata e di assegnare i gruppi alle FIFO, in ordine di priorità, in base al numero di code real-time contenute in ciascun gruppo. Questa scelta potrebbe causare un eccessivo aumento del CDV delle code incluse nei blocchi facenti parte del gruppo associato alla memoria VLP-FIFO, per cui un secondo criterio di ripartizione potrebbe non considerare più equibanda i tre gruppi di blocchi ma bensì di banda crescente nel senso della priorità decrescente. Viene in tal modo evitato il monopolio del servizio da parte del gruppo a maggiore priorità, e, per le stesse ragioni, da parte del gruppo a priorità intermedia nei confronti di quello a più bassa priorità. Qualunque sia il criterio di ripartizione dei blocchi, e volendo prescindere dalla seconda variante realizzativa, conviene fare in modo che il WFQ di blocco abbia lo stesso funzionamento del WFQ di coda, consentendo una pari flessibilità nel trattamento dei blocchi. Maggiori dettagli saranno forniti illustrando le flow-chart di funzionamento del WFQ di blocco.

Le precedenti considerazioni sulla difficoltà concettuale, e reale, di suddividere i blocchi in gruppi decrescenti di priorità, unitamente alla difficoltà di ripartire le code trasmissive tra i diversi blocchi in modo da renderne effettiva la priorità prescelta, sono dei chiari indizi di non ovvietà della presente invenzione, da opporre ad eventuali conclusioni di un'analisi che, molto riduttivamente, potrebbe vedere la presente moltiplicazione statistica come la semplice duplicazione di una funzionalità di WFQ nota. La mancanza di argomenti a favore di questa erronea conclusione apparirà

inoltre proseguendo nell'illustrazione del funzionamento e dal tenore stesso delle rivendicazioni, ove si potrà notare come le fasi che rendono dinamica la moltiplicazione statistica dei flussi, vale a dire le fasi di assegnazione e rinnovo dei token, sono svolte congiuntamente per i blocchi e per le rispettive code. Ciò significa che si è in presenza di una più estesa funzionalità di WFQ in grado di integrare i due trattamenti tra loro complementari riservati ai blocchi ed alle code trasmissive, pur mantenendo distinte le fasi che conducono all'emissione degli indicatori di blocco e di coda. Queste fasi non sono tuttavia indipendenti, in quanto le fasi che portano all'emissione di un indicatore di coda trasmissiva possono partire solo dopo che sia stato prescelto un blocco funzionale, in tal modo la ripartizione della banda residua tra le code trasmissive ne risulta condizionata. Troppo significative sono le interrelazioni tra il WFQ di blocco e di coda perché si possa pensare ad una semplice replicazione di un algoritmo noto, sembrerebbe invece assai più logico riconoscere l'originalità della funzionalità estesa di WFQ utilizzata nella presente invenzione.

Proseguendo nell'illustrazione del funzionamento, si vede che l'accettazione di una cella da una coda trasmissiva di celle estratte dal flusso d'ingresso LINK-IN (fig.1) termina con l'inserimento dei puntatori B-ID e/o Q-ID nelle opportune FIFO del WFQ. Il rispetto della condizione di inserimento precedentemente esposta garantisce che ciascun puntatore di blocco e di coda compaia al più una volta nelle FIFO del WFQ. Gli inserimenti dei puntatori Q-ID e B-ID, qualora necessari, vengono effettuati in parallelo.

Il servizio di una coda trasmissiva di celle da inserire nel flusso d'uscita LINK-OUT (fig.1) comporta, ad ogni tempo cella, le seguenti fasi operative svolte sequenzialmente:

- a) estrazione di un puntatore B-ID dal gruppo di FIFO del blocco WFQ-B (mediante



esecuzione dell'algoritmo di WFQ);

- b) eventuale trasferimento del puntatore B-ID al blocco SHAPER-B (fig.9) e da questi al blocco SCHEDULER-B per l'emissione di un puntatore B-ID ad un blocco che ha diritto al servizio con rate di picco limitata;
- c) estrazione di un puntatore Q-ID da uno dei gruppi di FIFO del blocco WFQ-Q selezionato dal puntatore B-ID emesso nella fase precedente (mediante esecuzione dell'algoritmo di WFQ);
- d) eventuale trasferimento del puntatore Q-ID al blocco SHAPER-Q (fig.9) e da questi al blocco SCHEDULER-Q per l'emissione di un puntatore Q-ID ad una coda trasmissiva che ha diritto al servizio con rate di picco limitata;
- e) trasferimento dei puntatori B-ID e Q-ID in tal modo determinati al blocco buffer manager BM per il compimento delle seguenti operazioni:
  - estrazione di una cella dal buffer BUF-CEL da parte del blocco SER-CONTR per il suo inserimento nel link d'uscita LINK-OUT;
  - generazione del segnale DECR-CNT per il decremento dei contatori di blocco e di coda del blocco di conteggio CODE-CNT;
  - generazione del segnale LEGGI-CNT per la lettura del valore VAL-CNT dei contatori di blocco e di coda di CODE-CNT;
  - eventuale generazione del segnale WR-EN-P per la riscrittura di B-ID e/o Q-ID nel rispettivo gruppo di FIFO nel caso il rispettivo valore di VAL-CNT fosse non nullo.

Come meglio sarà visto tra breve, i puntatori B-ID e Q-ID vengono emessi dai blocchi WFQ-B e WFQ-Q secondo la seguente legge:

- se la memoria HP-FIFO contiene almeno un puntatore, esso viene estratto;

- se la memoria HP-FIFO è vuota e la memoria LP-FIFO contiene almeno un puntatore, esso viene estratto;
- se le memorie HP-FIFO e LP-FIFO sono entrambe vuote e la memoria VLP-FIFO contiene almeno un puntatore, esso viene estratto.

Con riferimento alle figg.13, 14, 15, e 16, ed a quanto detto nella precedentemente citata domanda di brevetto depositata dalla stessa Richiedente circa le modalità di esecuzione dell'algoritmo di WFQ applicato alle sole code trasmissive, vengono ora meglio specificate le modalità di esecuzione dello stesso nell'ambito del metodo di multiplazione statistica oggetto della presente invenzione, precisando che nel nuovo ambito il suddetto algoritmo di WFQ viene applicato in modo innovativo per selezionare i blocchi, oltre che per servire le rispettive code trasmissive.

L'estensione del suddetto algoritmo anche ai blocchi di code trasmissive è una novità assoluta della presente invenzione, e pertanto le modalità di una tale applicazione verranno accuratamente illustrate con riferimento alle principali risorse incluse nel blocco WFQ-B. Con le opportune distinzioni, le nozioni esposte continueranno a valere anche per il blocco WFQ-Q.

I casi relativi alla prima e seconda variante realizzativa della presente invenzione, che prevedono l'utilizzo delle RT-FLAG per stabilire una priorità assoluta sui flussi real-time isolati in code dedicate, o in un blocco, sono una diretta conseguenza del complesso delle nozioni esposte, o citate. Verrà pertanto brevemente illustrata solo la seconda variante che costituisce anch'essa motivo di novità. Ciò posto, si rimanda a quanto già detto circa la suddivisione in classi di servizio dei diversi flussi entranti in un nodo di rete e multiplati nell'unico flusso

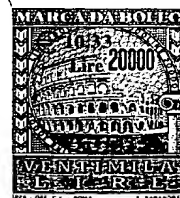
LINK-IN (fig.1) all'ingresso del generico multiplexer statistico SMU. Giova rimarcare che non esiste a priori una relazione tra la banda del link in ingresso e la banda del link in uscita LINK-OUT, e riassumere che il flusso in ingresso è costituito da celle appartenenti ad un certo numero di flussi con diversi livelli di QoS. Tali flussi consistono in un numero  $z$  di flussi trasmissivi di applicazioni a banda disponibile o ABR (quali sono ad esempio i flussi non "real time" relativi ad un file dati) per i quali il sistema garantisce comunque una banda minima e la massima disponibilità della banda in eccesso, ed in un numero  $s$  di flussi trasmissivi di applicazioni non ABR (quali sono ad esempio i flussi "real time" relativi a segnali televisivi, etc.), per i quali il sistema deve comunque garantire la banda di picco stabilita (connessioni CBR ovvero di massima priorità). Ai suddetti flussi si aggiungono i flussi di tipo UBR, per i quali il servizio non garantisce una banda minima. Le classi di QoS menzionate, unitamente a quanto già detto per i blocchi, suggeriscono il criterio di ripartizione dei puntatori B-ID e Q-ID tra le memorie FIFO del WFQ.

Il presupposto su cui si fonda l'algoritmo di WFQ è che ci sia della banda disponibile da ripartire, per cui, detta  $R_{tot}$  la banda totale disponibile sul link LINK-OUT, dette  $RA_i$  le bande minime contrattate degli  $z$  flussi trasmissivi ABR (o più precisamente a banda minima garantita) e dette  $RNA_i$  le bande trasmissive fisse degli  $s$  flussi trasmissivi non ABR (UBR esclusi) deve valere la relazione  $\sum_i RA_i + \sum_i RNA_i \leq R_{tot}$ . Il rispetto di tale relazione viene garantito, in fase di contrattazione, da una corretta assegnazione alle singole applicazioni dei valori  $RA_i$  e  $RNA_i$ .

Il meccanismo dei token è nato per garantire alle code ABR la garanzia di una banda minima. Allo scopo il numero di token assegnati in un certo periodo  $TR$ , detto



periodo di rinnovo, a ciascuna coda trasmissiva appartenente ad un flusso trasmissivo ABR, è proporzionale alla banda minima assegnata in sede di contrattazione. Il periodo di rinnovo TR è un multiplo intero del tempo di cella Tc. Esso viene definito come:  $TR = (R_{tot}/G) \times T_c$  dove il fattore G caratterizza la granularità legata alla banda minima gestibile. Il numero di token assegnato a ciascuna coda appartenente a flussi trasmissivi ABR è pari a  $RA_i/G$ . La variazione del periodo TR, ossia della granularità con la quale i token vengono distribuiti, permette di ottimizzare in ogni situazione le prestazioni del multiplexer statistico delle figg. 10 e 11.



Vantaggiosamente, le bande contrattate possono venire facilmente variate semplicemente cambiando il numero di token a disposizione di ciascuna applicazione. In sede di contrattazione è anche possibile assegnare i token in modo tale che la somma di tutte le bande minime di tutti i flussi ABR e di tutte le bande di picco dei flussi non ABR (UBR esclusi) risulti sempre minore della banda totale del link in uscita. Ciò permetterebbe di avere sempre a disposizione una certa banda in eccesso da poter distribuire. In effetti i token possono essere visti come una unità di misura della banda, per cui chi decide se accettare o meno una connessione, deve verificare che le condizioni di traffico in rete permettano di garantire a quella connessione e alle altre già presenti il rispetto dei parametri di traffico che le caratterizzano. Se tale valutazione viene fatta utilizzando "l'unità di misura" token, allora a ciascuna connessione con banda fissa ed a ciascuna connessione con banda minima garantita, devono essere assegnati dei token. Da quanto sopra ne consegue che in fase di accettazione vengono assegnati dei token anche alle code QUj i cui puntatori sono contenuti nelle memorie HP-FIFO del blocco WFQ-Q. Questo stesso ragionamento si applica anche ai blocchi, dato che i parametri di banda di ciascun

blocco risultano dalle bande delle rispettive code, per cui in fase di accettazione vengono assegnati dei token anche ai blocchi i cui puntatori B-ID sono contenuti nella memoria HP-FIFO del blocco WFQ-B. Valendo il criterio di assegnazione dei token stabilito per le code, risulta di conseguenza che la somma dei token di tutti i blocchi non supera mai la banda totale in uscita (LINK-OUT).

Rimane tuttavia valido per il multiplexer statistico secondo la presente invenzione il fatto di utilizzare i token esclusivamente per garantire le bande minime, ragion per cui le connessioni con banda fissa vengono sempre servite con alta priorità, indipendentemente dal valore dei token che chi decide l'accettazione assegna a ciascuna di esse. Sorge allora spontanea la domanda: e se una connessione a banda fissa (es. CBR) trasmettesse ad una banda maggiore del suo PCR (Peak Cell Rate), non riceverebbe in realtà più del dovuto? La risposta è affermativa, ma ciò non può succedere perché, come è noto, nei nodi d'ingresso della rete (fig.1) sono presenti dei componenti chiamati "policer" (non indicati nelle figure) i quali verificano e fanno in modo che ciascuna connessione CBR (VBR) non trasmetta ad una banda superiore al suo PCR (SCR).

Con riferimento alla fig.13 viene illustrato il metodo utilizzato nella presente invenzione per la ripartizione della banda disponibile tra i diversi blocchi B-ID. Il metodo è descritto relativamente ad un solo periodo di rinnovo TR.

All'inizio del periodo TR l'unità di controllo WFQ-CONTR (fig.11) si porta in una fase INIZIALIZZA TR-CNT in cui viene inizializzato un contatore TR-CNT con il valore TR del periodo di rinnovo dei token.

Segue una fase INIZIALIZZA TK-CNT-B, TK-CNT1, ..., TK-CNTm durante la quale vengono inizializzati i dispositivi di memorizzazione dei token sopra indicati (fig.12) con i valori di token  $N^{\circ}\text{TOK}(B1)$ , ...,  $N^{\circ}\text{TOK}(Bm)$  assegnati ai rispettivi campi

del contatore TK-CNT-B, e con i valori di token  $N^{\circ}\text{TOK}(\text{QU}1), \dots, N^{\circ}\text{TOK}(\text{QU}z)$  assegnati ai rispettivi campi degli  $m$  contatori TK-CNT $_j$ . Il numero di token  $N^{\circ}\text{TOK}(\text{B}_j)$  che un generico blocco effettivamente utilizza per garantire la banda minima di blocco è dato dalla seguente espressione:

$$N^{\circ}\text{TOK}(\text{B}_j) = \sum_{i=1}^z N^{\circ}\text{TOK}(\text{QU}_i)$$

dove  $z$  è il numero di code trasmissive QU di tipo ABR assegnate al blocco  $j$ -esimo.

Successivamente l'unità WFQ-CONTR si porta in una fase INIZIALIZZA LE FIFO DEI BLOCCHI WFQ-Q, WFQ-B durante la quale vengono rimossi eventuali puntatori contenuti nelle suddette memorie, e vengono opportunamente inseriti nei gruppi di memorie HP-FIFO, LP-FIFO, VLP-FIFO del blocco WFQ-Q dei puntatori Q-ID a code trasmissive che hanno celle da trasmettere, e nelle omonime memorie del blocco WFQ-B dei puntatori B-ID ai blocchi che includono le suddette code.

Le fasi di inizializzazione finora illustrate mostrano chiaramente come fino a questo punto non siano affatto distinguibili due funzionalità di WFQ tra loro indipendenti, rispettivamente per i blocchi e le code trasmissive, poiché infatti i relativi trattamenti sono svolti congiuntamente. Da questo punto in avanti è possibile illustrare separatamente le due funzionalità, ma questo non significa che la seconda sia indipendente dalla prima.

L'unità WFQ-CONTR nella fase  $\text{TR-CNT} - T_c \rightarrow \text{TR-CNT}$  decrementa di una quantità corrispondente al tempo cella  $T_c$  il contatore TR-CNT, e si porta in una fase di test  $\text{TR-CNT} = 0$  nella quale verifica se il tempo TR non sia terminato.

Se il tempo TR non è ancora terminato, l'unità WFQ-CONTR si porta in una fase di lettura LEGGI HP-FIFO durante la quale viene letto un puntatore B-ID, a cui segue una fase di test È HP-FIFO VUOTA? nella quale verifica se nella suddetta

FIFO non ci sono più puntatori B-ID a blocchi ad alta priorità di servizio ancora da emettere.

Se il test indica che tali puntatori ci sono l'unità WFQ-CONTR si porta in una fase SERVI HP-FIFO durante la quale viene servito il blocco il cui puntatore B-ID era stato letto nella fase LEGGI HP-FIFO. Al termine della fase SERVI HP-FIFO, che verrà illustrata con la fig.14, l'unità WFQ-CONTR ritorna alla fase in cui si decrementa TR-CNT e ripete ciclicamente le fasi comprese tra quest'ultima e la fase di servizio fino a che non è esaurito il tempo TR, oppure fino a che la memoria HP-FIFO stessa non è stata svuotata.

Quando ciò accade, il test È HP-FIFO VUOTA? risulta vero e l'unità WFQ-CONTR si porta in una fase di lettura LEGGI LP-FIFO durante la quale viene letto un puntatore B-ID, a cui segue una fase di test È LP-FIFO VUOTA? nella quale verifica se nella suddetta FIFO non ci sono più puntatori B-ID a blocchi a bassa priorità di servizio ancora da emettere.

Se il test indica che tali puntatori ci sono l'unità WFQ-CONTR si porta in una fase SERVI LP-FIFO durante la quale viene servito il blocco il cui puntatore B-ID era stato letto nella fase LEGGI LP-FIFO. Al termine della fase SERVI LP-FIFO, che verrà illustrata con la fig.15, l'unità WFQ-CONTR ritorna alla fase in cui si decrementa TR-CNT e ripete ciclicamente le fasi di lettura e di servizio della memoria LP-FIFO fino a che non è esaurito il tempo TR, oppure fino a che la memoria LP-FIFO stessa non è stata svuotata.

Quando ciò accade, il test È LP-FIFO VUOTA? risulta vero e l'unità WFQ-CONTR si porta in una fase di lettura LEGGI VLP-FIFO durante la quale viene letto un puntatore B-ID, a cui segue una fase di test È LP-FIFO VUOTA? (trasferita per comodità di raffigurazione all'inizio di fig.16) nella quale verifica se nella suddetta

FIFO non ci sono più puntatori B-ID a blocchi a bassissima priorità di servizio ancora da emettere.

Se il test indica che tali puntatori ci sono l'unità WFQ-CONTR si porta in una fase SERVI VLP-FIFO durante la quale viene servito il blocco il cui puntatore B-ID era stato letto nella fase LEGGI VLP-FIFO. Al termine della fase SERVI VLP-FIFO, che verrà illustrata con la fig.16, l'unità WFQ-CONTR ritorna alla fase in cui si decrementa TR-CNT e ripete ciclicamente le fasi di lettura e di servizio della memoria VLP-FIFO stessa fino a che non è esaurito il tempo TR, oppure fino a che la memoria VLP-FIFO non è stata svuotata. In ambedue i casi viene riavviata la fase di START e l'unità WFQ-CONTR si riporta nuovamente nelle fasi di inizializzazione del contatore TR-CN nella quale viene ripristinato il valore originale del periodo di rinnovo TR nel contatore TR-CNT, a cui fa seguito la fase in cui vengono nuovamente calcolati e ridistribuiti i token nei contatori TK-CNT1,...,TK-CNTm e TK-CNT-B, FIFO, e la fase in cui vengono reinizializzati i contenuti di tutte le FIFO dei blocchi WFQ-Q e WFQ-B.



Con riferimento alla fig.14, viene illustrata la fase SERVI HP-FIFO di fig.13 che inizia con una fase EMETTI B-ID SU BUS-DATI-WFQ il cui significato è ovvio.

Segue una fase in cui viene letto il valore VAL-CNT riferito alle occorrenze del blocco indicato da B-ID, e poi eseguito un test sul valore letto per stabilire se ci sono ancora blocchi di quel tipo da servire. Questo sarà vero in caso di presenza di almeno una cella ancora da trasmettere in almeno una coda assegnata al blocco appena servito.

Se il test  $VAL-CNT = 0?$  risulta falso, viene eseguita la fase SCRIVI B-ID IN HP-FIFO per reinserire il puntatore B-ID nella memoria HP-FIFO, altrimenti l'unità WFQ-CONTR si riporta nella fase di decremento del tempo TR e ripete il ciclo di svuotamento di HP-FIFO, terminando così la fase di servizio.

Con riferimento alla fig.15, viene illustrata la fase SERVI LP-FIFO di fig.13 che inizia con una fase EMETTI B-ID SU BUS-DATI-WFQ il cui significato è ovvio. Viene quindi letto il valore VAL-CNT riferito alle occorrenze del blocco indicato da B-ID, e poi eseguito un test sul valore letto per stabilire se ci sono ancora blocchi di quel tipo da servire.

Se il test  $VAL-CNT = 0$  risulta falso, l'unità WFQ-CONTR esegue nella fase  $TK-CNT-B = 0$  un test sul valore del campo del token counter TK-CNT-B riferito al blocco indicato dal puntatore B-ID.

Se dal test risulta che il blocco in questione possiede ancora gettoni da spendere, il puntatore B-ID viene reinserito nella memoria LP-FIFO e decrementato di una unità il valore nel campo del token counter TK-CNT-B. Dopodichè l'unità WFQ-CONTR si riporta nella fase di decremento del tempo TR e ripete il ciclo di svuotamento di LP-FIFO.

Se dal test sul token counter TK-CNT-B risulta che il blocco indicato da B-ID ha già speso tutti i propri gettoni, il puntatore B-ID viene inserito nella memoria VLP-FIFO, dopodichè viene decrementato di una unità il tempo TR e ripetuto il ciclo di svuotamento di LP-FIFO, terminando così la fase di servizio.

La fig.16 illustra la fase SERVI VLP-FIFO di fig.13 che è del tutto analoga alla fase SERVI HP-FIFO di fig.14, eccetto per il fatto che il puntatore B-ID viene ora inserito nella memoria VLP-FIFO.

È del tutto evidente che, prescindendo momentaneamente da successive operazioni di scheduling degli indicatori B-ID e Q-ID, una volta che risulti completata una fase EMETTI B-ID SU BUS-DATI-WFQ, può partire l'esecuzione di quelle fasi del WFQ applicato alle code trasmissive che conducono all'emissione di un indicatore Q-ID e che sono del tutto analoghe alle corrispondenti fasi illustrate per i blocchi.

Dai diagrammi di flusso appena illustrati si possono riassumere le caratteristiche salienti del WFQ di blocco, dicendo che la FIFO ad alta priorità HP-FIFO contiene puntatori B-ID a blocchi funzionali che sono serviti sempre, indipendentemente dai token ad essi assegnati durante la fase negoziale.

La FIFO a bassa priorità LP-FIFO contiene puntatori B-ID a blocchi funzionali che hanno ancora a disposizione token e che, quindi, hanno sicuramente diritto ad essere serviti.

La FIFO a bassissima priorità VLP-FIFO contiene puntatori B-ID a blocchi funzionali che hanno già speso tutti i token a loro disposizione e che, quindi, hanno già sicuramente sfruttato appieno la banda minima a loro concessa. Tali blocchi hanno quindi uguale diritto di venire serviti, per cui la banda residua viene ripartita tra gli stessi in modo uniforme.

Durante l'intervallo di tempo  $TR$  la memoria LP-FIFO viene scandita ciclicamente ed i blocchi da essa indicati vengono uniformemente serviti. Tali blocchi, per effetto della diminuzione del numero di token e della loro chiamata per il servizio delle rispettive code trasmissive, possono venire a trovarsi in stati diversi.

Un blocco può contemporaneamente esaurire i propri token e non avere più code da servire. Tale situazione si verificherà quando, durante il periodo  $TR$ , la cell-rate aggregata è stata esattamente uguale alla banda minima assegnata al blocco.

Un blocco può invece non avere più code da servire prima di avere esaurito i propri token. Ciò significa che tale blocco includerà code trasmissive la cui cell-rate aggregata, durante il periodo  $TR$ , è stata inferiore alla banda minima assegnata al blocco.

Una blocco può infine esaurire i propri token prima dello scadere del periodo

TR. Ciò significa che tale blocco includerà code trasmissive la cui cell-rate aggregata, durante il periodo TR, è stata superiore alla banda minima assegnata al blocco.

Durante il periodo TR, per effetto dell'attività di svuotamento della memoria LP-FIFO, potranno verificarsi i seguenti due casi:

Nel primo caso, lo svuotamento della LP-FIFO coincide con la fine del periodo TR. Ciò significa che tutti i blocchi funzionali hanno trasmesso, durante il periodo TR, con una cell-rate aggregata uguale alla velocità determinata dalla banda minima concordata. In questo caso, durante tale periodo, non vi sarà alcuna banda disponibile in eccesso da distribuire tra i blocchi.

Nel secondo caso lo svuotamento della LP-FIFO arriva prima della fine del periodo TR. Ciò significa che almeno uno tra i blocchi funzionali ha trasmesso, durante il periodo TR, con una cell-rate aggregata inferiore alla velocità determinata dalla banda minima concordata. In questo caso, durante tale periodo, vi sarà banda disponibile in eccesso da distribuire eventualmente tra i blocchi. La memoria VLP-FIFO viene scandita ciclicamente in modo tale che tutti i blocchi il cui indicatore è presente vengano uniformemente serviti, indipendentemente dal numero di token da essi originariamente posseduto ed indipendentemente dal numero di code che gli stessi abbiano ancora da servire (Round-Robin).

Si potrà apprezzare che, in questo modo, anche nel caso pessimo in cui tutti i blocchi abbiano code la cui cell-rate aggregata sia superiore alla banda minima assegnata al rispettivo blocco, gli stessi blocchi vengano correttamente serviti almeno con la banda minima concordata. Ulteriormente apprezzabile risulta poi il fatto che, grazie alla modalità di scansione della memoria VLP-FIFO, nessun blocco riesce a monopolizzare il servizio.

Nel caso specifico della seconda variante realizzativa, in aggiunta alle tre



memorie FIFO viene utilizzata la flag RT-FLAG per il governo dell'unico blocco che raggruppa tutte le code trasmissive con necessità di servizio in real-time. In tal caso l'unità WF-CONTR, una volta esaurita la fase iniziale, passa subito ad eseguire un test sul valore di RT-FLAG per vedere se esiste un blocco da servire con precedenza assoluta, anche rispetto alla FIFO ad alta priorità HP-FIFO. Una volta svuotato il suddetto blocco e disattivata la flag, l'unità WF-CONTR procede come illustrato in fig.13.

Con riferimento alla fig.8, viene ora discusso il caso in cui i blocchi SHAPER-B, SCHEDULER-B e SHAPER-Q, SCHEDULER-Q di fig.9 non debbano essere considerati opzionali, ma bensì effettivi. Questo è il caso più probabile in quanto, generalmente i blocchi e le code trasmissive con traffic-type non real-time necessitano di un controllo preventivo della banda di picco prima della loro ammissione al servizio. Si ricorda che per i corrispondenti real-time il picco è preventivamente garantito in fase di accettazione della connessione. Nel caso prospettato il diagramma di flusso principale di fig.13, come pure i diagrammi di flusso delle fasi di servizio illustrati nelle figure 14, 15 e 16 restano immutati, in quanto il servizio che essi producono è quello di emettere un puntatore B-ID e/o Q-ID sul bus dati BUS-DATI-WFQ dell'unità di controllo WFQ-CONTR. La suddetta unità, dall'analisi del TR-TYPE, deciderà se prolungare il bus BUS-DATI-WFQ verso i blocchi SHAPER-B e SHAPER-Q, o altrimenti trasferire il puntatore B-ID e/o Q-ID direttamente all'unità SER-CONTR (fig.10) che controlla la fase terminale della funzionalità di servizio. In modo del tutto analogo è possibile disabilitare selettivamente, via software, il controllo del picco sulla banda di singoli blocchi, e/o sulla banda di singole code trasmissive, che continueranno ad avere una banda regolata dall'algoritmo di WFQ puro. La struttura proposta consente quindi la coesistenza di blocchi e/o code con o senza il controllo



della cell-rate di picco.

In fig.17 viene illustrato il diagramma a blocchi funzionali di una terza variante realizzativa in cui la ricerca di un indicatore B-ID da emettere viene effettuata in parallelo dai blocchi SCHEDULER-B e dal tandem WFQ-B, SHAPER-B, e la ricerca di un indicatore Q-ID da emettere viene effettuata in parallelo dai blocchi SCHEDULER-Q e dal tandem WFQ-Q, SHAPER-Q. Il vantaggio che ne deriva è quello di ridurre il CDV che l'indicatore subisce percorrendo interamente il suo anello.

Con riferimento alla fig.17, si può notare come la rappresentazione a blocchi ivi raffigurata differisca da quella di fig.9 per quanto segue:

- l'uscita del blocco SHAPER-Q non è più connessa al blocco SCHEDULER-Q ma bensì ad un primo ingresso di un blocco SELECT Q-ID;
- l'uscita del blocco SCHEDULER-Q non è più connessa al buffer manager BM ma bensì ad un secondo ingresso del blocco SELECT Q-ID;
- una prima uscita del blocco SELECT Q-ID è connessa al buffer manager BM;
- una seconda uscita del blocco SELECT Q-ID è connessa all'ingresso del blocco SCHEDULER-Q.

Considerazioni duali valgono per i blocchi WFQ-B, SHAPER-B, SCHEDULER-B; in tal caso è presente un blocco SELECT B-ID la cui uscita connessa al buffer manager BM è pure connessa ad un terzo ingresso del blocco WFQ-Q. Per brevità, è stata omessa nelle figure l'indicazione di una rispettiva unità di controllo dei blocchi SHAPER-Q, SCHEDULER-Q, e SHAPER-B, SCHEDULER-B.

Con riferimento alla fig.18, viene illustrato il funzionamento del multiplexer statistico rappresentato diagramma a blocchi di fig.17 relativamente alle sole funzionalità di shaping e scheduling. Per brevità viene indicata la flow chart delle suddette funzionalità che riguardano i soli indicatori B-ID, essendo la flow chart che

tratta gli indicatori Q-ID del tutto identica a quella che verrà ora illustrata. In fig.18 dopo l'indicazione di START, il flusso elaborativo si suddivide in due rami eseguiti in parallelo. Sul primo ramo l'indicatore B-ID estratto dal blocco WFQ-B viene inviato, al termine della fase ESEGUI WFQ-B, al blocco SHAPER-B. Quest'ultimo calcola il tempo di inserimento nel calendario, espresso come N-SLOT-B, e nella successiva fase l'unità di controllo inserisce B-ID nel calendario alla locazione indicata da N-SLOT-B, incrementa di un tempo di cella  $T_c$  un contatore del tempo corrente TNOW utilizzato per la scansione del calendario, e ritorna quindi al punto di partenza immediatamente dopo lo START. Guardando al diagramma a blocchi di fig.17, la fase B-ID  $\rightarrow$  CALEND(N-SLOT-B) equivale al percorso compiuto da B-ID dalla seconda uscita del blocco SELECT B-ID all'ingresso del blocco SCHEDULER-B.

Contemporaneamente alle fasi di elaborazione di cui sopra, l'unità di controllo esegue una fase di test È B-ID DA SCHED-B per verificare la presenza di un indicatore B-ID emesso dallo SCHEDULER-B.

Se la risposta è sì, viene emesso il puntatore B-ID sulla prima uscita del blocco SELECT B-ID da cui prosegue verso il buffer manager BM, ed il controllo ritorna all'esecuzione della fase  $TNOW + T_c \rightarrow TNOW$  ed alla successiva ripetizione delle elaborazioni sui due rami.

Se invece la risposta è no significa che l'algoritmo di ricerca che governa SCHEDULER-B non ha individuato nessun indicatore B-ID da estrarre, l'unità di controllo compie quindi una seconda fase di test È B-ID DA WFQ-B per verificare la presenza di un indicatore B-ID emesso dal blocco WFQ-B.

Se la risposta è no, nessun indicatore B-ID è stato emesso da WFQ-B. In questo caso nessun indicatore B-ID (e quindi Q-ID) può essere emesso dall'anello nel presente tempo cella e nessuna ulteriore operazione deve essere effettuata, pertanto

Italtel spa  
Il Mandatario  
Dario Giardini

il controllo ritorna all'esecuzione della fase  $TNOW + T_c \rightarrow TNOW$  ed alla successiva ripetizione delle elaborazioni sui due rami.

Se la nella seconda fase di test la risposta è sì, significa che un indicatore B-ID è stato emesso dal blocco WFQ-B ed occorre stabilire se, e quando, esso può essere riemesso verso il blocco BM. Allo scopo viene compiuta una terza fase di test È  $N-SLOT-B > TNOW/T_c$  in cui l'unità di controllo dello scheduler verifica se la locazione d'inserimento nel calendario calcolata dal blocco SHAPER-B è maggiore di quella ( $TNOW/T_c$ ) corrispondente al tempo attuale  $TNOW$ .

In caso affermativo nessun indicatore B-ID può essere estratto dall'anello nel presente tempo cella  $TNOW$ , ed il controllo passa ad una successiva fase INSERISCI B-ID NEL CALENDARIO ALLA LOCAZIONE N-SLOT-B, il cui significato è ovvio; dopodichè il controllo ritorna all'esecuzione della fase  $TNOW + T_c \rightarrow TNOW$  ed alla successiva ripetizione delle elaborazioni sui due rami.

Se nella terza fase di test la risposta è negativa, significa che la locazione N-SLOT-B è uguale a quella calcolata dallo shaper al tempo corrente  $TNOW$ , il segno di minore rappresenterebbe infatti una condizione resa impossibile dal particolare algoritmo adottato dallo shaper. Viene in tal caso compiuta una fase EMETTI B-ID in cui l'indicatore B-ID viene emesso sulla prima uscita del blocco SELECT B-ID, da dove prosegue verso il buffer manager BM. Nessun inserimento di B-ID nel calendario è necessario. Dopodichè il controllo ritorna all'esecuzione della fase  $TNOW + T_c \rightarrow TNOW$  ed alla successiva ripetizione delle elaborazioni sui due rami.

Vantaggiosamente, è stato realizzato un unico circuito integrato di tipo ASIC (Application Specific Integrated Circuit) che include tutti i blocchi funzionali indicati in fig.9.

Architetture con funzionalità ridotta possono essere ottenute rimuovendo dall'architettura di fig.9 alcuni blocchi che implementano le funzionalità non considerate. Occorrerà in tal caso modificare in modo congruente le flow-chart finora illustrate. Nel multiplexer illustrato nella terza variante di fig.17 è ad esempio possibile includere l'elaborazione parallela offerta dal blocco SELECT nell'uno o nell'altro, o in ambedue, gli anelli di emissione dei puntatori B-ID e Q-ID.

Un altro esempio di tali strutture è visibile in fig.19 relativamente ad una quarta variante realizzativa della presente invenzione in cui sono stati rimossi i blocchi SHAPER-Q e SCHEDULER-Q. In tal caso l'indicatore di coda Q-ID estratto dal blocco WFQ-Q non viene inserito nel calendario ma passato direttamente al buffer manager BM, che deve richiedere la lettura di una cella ATM memorizzata nel buffer BUF-CEL (fig.12) e, qualora necessario, ritrasferire l'indicatore Q-ID alla funzionalità di WFQ-Q. La soluzione indicata in fig.19, che non permette di controllare la banda di picco di ciascuna coda trasmissiva, garantisce tuttavia un miglior sfruttamento della banda ed una minor occupazione di logica.

Un ulteriore esempio di struttura con funzionalità ridotta è visibile in fig.20, relativamente ad una quinta variante realizzativa della presente invenzione in cui è stato rimosso il blocco WFQ-B. In tal caso il blocco BM trasferisce gli indicatori B-ID direttamente al blocco SHAPER-B che, svolta la sua funzione, lo inserisce nel calendario scandito dal blocco SCHEDULER-B. Questa scelta è funzionalmente equivalente al modo di operare secondo l'arte nota, in quanto assegna ai blocchi una banda costante e riserva l'applicazione della funzionalità di WFQ alle sole code trasmissive.



Italtel spa  
Il Mandatario  
Delfo Giustini

## RIVENDICAZIONI

1. Metodo di multiplexing statistico di flussi di celle ATM originati da connessioni aventi classi di servizio di diversa qualità, detti flussi generando code trasmissive di celle ( $QU_j$ ) ripartite entro blocchi funzionali ( $B_i, \dots, B_m$ ), e ad almeno alcuni di detti flussi essendo assegnata una banda minima garantita sul flusso multiplato (LINK-OUT) e la possibilità di ripartire una banda residua eventualmente disponibile sullo stesso flusso mediante una funzionalità, detta in seguito di Weighted Fair Queuing, o WFQ, che assegna dinamicamente opportune quantità di gettoni, valutate su base statistica, a delle singole code trasmissive ( $QU_j$ ), che spendono detti gettoni per accedere alla banda residua sul flusso multiplato (LINK-OUT), **caratterizzato dal fatto che** detta funzionalità di WFQ comprende delle fasi di assegnazione dinamica di opportune quantità di gettoni, valutate su base statistica, anche ai detti blocchi funzionali ( $B_i, \dots, B_m$ ), che spendono detti gettoni per consentire alle proprie code trasmissive ( $QU_j$ ) di accedere alla ripartizione della banda residua sul flusso multiplato (LINK-OUT), ripartendo in tal modo tra i detti blocchi funzionali ( $B_i$ ) la banda residua sul flusso multiplato.

2. Metodo di multiplexing statistico secondo la rivendicazione 1, **caratterizzato dal fatto che** le fasi di detta funzionalità di WFQ vengono ripetute ciclicamente con periodo di rinnovo del ciclo ( $TR$ ) multiplo intero del tempo di trasmissione di una cella ( $T_c$ ) sul detto flusso multiplato (LINK-OUT), ciascun ciclo comprendendo le fasi di:

- a) assegnare (INIZIALIZZA TK-CNT1, ..., m) ad almeno alcune di dette code trasmissive ( $QU_1, \dots, QU_z$ ) un rispettivo numero di gettoni ( $N^{TK}(QU_1), \dots, N^{TK}(QU_z)$ ) proporzionale alla banda dei rispettivi detti flussi;
- b) assegnare (INIZIALIZZA TK-CNT-B) ad almeno alcuni di detti blocchi ( $B_1, \dots, B_m$ ) un

rispettivo numero di gettoni, ( $N^{\circ}TK(B1)$  ,...,  $N^{\circ}TK(Bm)$ ) proporzionale alla banda cumulativa dei rispettivi flussi componenti;

- c) ripartire (INIZIALIZZA FIFO WFQ-B) gli indicatori (B-ID) di blocchi che includono code trasmissive in attesa di essere servite entro una lista ad alta priorità (HP-FIFO), una lista a bassa priorità (LP-FIFO), ed una lista a bassissima priorità (VLP-FIFO) appartenenti ad un primo insieme di liste (WFQ-B) gestite su base FIFO;
- d) ripartire (INIZIALIZZA FIFO WFQ-Q) gli indicatori (Q-ID) di dette code trasmissive che attendono di essere servite entro una lista ad alta priorità (HP-FIFO), una lista a bassa priorità (LP-FIFO), ed una lista a bassissima priorità (VLP-FIFO), singolarmente appartenenti a secondi insiemi di liste (WFQ-Q) gestite su base FIFO, associati ai blocchi funzionali;
- e) scandire, a cadenza di cella ( $T_c$ ) e sulla base dei gettoni disponibili, le liste di indicatori (B-ID) di detto primo insieme (SERVI HP-FIFO, SERVI LP-FIFO, SERVI VLP-FIFO) per l'emissione di indicatori (B-ID) che selezionano dei blocchi funzionali ( $B_j$ ) aventi code da servire;
- f) scandire, a cadenza di cella ( $T_c$ ) e sulla base dei gettoni disponibili, le liste appartenenti ai detti secondi insiemi di liste (WFQ-Q) selezionati, per l'emissione di rispettivi indicatori (Q-ID) di code trasmissive (QUj) abilitate a trasmettere una cella sul flusso multiplato (LINK-OUT).

3. Metodo di multiplexing statistico secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che la detta fase di scandire e) comprende le fasi di:

- leggere (LEGGI HP-FIFO) un indicatore (B-ID) da una lista ad alta priorità (HP-FIFO) e servire (SERVI HP-FIFO) il blocco indicato, terminando la scansione (È HP-FIFO VUOTA) con lo svuotamento di detta lista ad alta priorità;
- leggere (LEGGI LP-FIFO) un indicatore (B-ID) da una lista a bassa priorità (LP-FIFO)

e servire (SERVI LP-FIFO) il blocco indicato, decrementando, nel caso, i gettoni a disposizione e trasferendo l'indicatore (B-ID) del blocco che ha esaurito i propri gettoni all'interno di una lista a bassissima priorità (VLP-FIFO), terminando la scansione (È LP-FIFO VUOTA) con lo svuotamento di detta lista a bassa priorità, o con la fine del periodo di rinnovo (TR);

- leggere (LEGGI VLP-FIFO) un indicatore (B-ID) da una lista a bassissima priorità (VLP-FIFO) e servire (SERVI VLP-FIFO) il blocco indicato, terminando la scansione (È VLP-FIFO VUOTA) con lo svuotamento di detta lista a bassissima priorità, o con la fine del periodo di rinnovo (TR).

4. Metodo di multiplexing statistico secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che ciascuna detta fase di servire (SERVI HP-FIFO, SERVI LP-FIFO, SERVI VLP-FIFO) i blocchi indicati nelle dette liste aventi differenti priorità, inoltre comprende la fase di reinserire un detto indicatore di blocco (B-ID) nella lista di provenienza in caso di presenza di almeno una cella ancora da trasmettere in almeno una coda (QUj) assegnata al blocco selezionato.

5. Metodo di multiplexing statistico secondo una delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che le dette connessioni aventi classi di servizio di diversa qualità ne comprendono alcune per cui è garantita la cell-rate di picco, e che comportano quindi flussi i quali non hanno l'opportunità di fruire di detta ulteriore banda eventualmente disponibile sul flusso multiplato (LINK-OUT), detti flussi alla cell-rate di picco generando code trasmissive allocate in un unico blocco che vengono servite prioritariamente fino allo svuotamento dello stesso.

6. Metodo di multiplexing statistico secondo una delle precedenti rivendicazioni, dove alcune di dette connessioni sono sostenute da flussi di celle ATM che necessitano di un controllo della banda di picco tale da non permettere il



superamento di un certo valore massimo di banda entro il detto flusso multiplato (LINK-OUT), caratterizzato dal fatto di ricorrere ad una prima temporizzazione che dilata gli intervalli di emissione di almeno alcuni detti indicatori (B-ID) dei blocchi funzionali (Bj) per limitare la banda di picco cumulativa del gruppo di connessioni appartenenti ai blocchi selezionati.

7. Metodo di multiplexing statistico secondo la rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che detta prima temporizzazione è ottenuta calcolando ad ogni tempo cella ( $T_c$ ) una locazione d'inserzione (N-SLOT-B) in un primo calendario di un indicatore (B-ID) di un blocco selezionato, il primo calendario essendo letto con la stessa cadenza di scrittura per estrarre un indicatore del blocco (Bj) che verrà effettivamente selezionato al tempo cella attuale (TNOW).

8. Metodo di multiplexing statistico secondo la rivendicazione 6, o 7, caratterizzato dal fatto di ricorrere ad una seconda temporizzazione che dilata gli intervalli di emissione di almeno alcuni detti indicatori (Q-ID) di coda trasmissiva per limitare la banda di picco delle code servite.

9. Metodo di multiplexing statistico secondo la rivendicazione 8, caratterizzato dal fatto che detta seconda temporizzazione è ottenuta calcolando ad ogni tempo cella ( $T_c$ ) una locazione d'inserzione (N-SLOT-Q) in un secondo calendario di un detto indicatore di coda da servire (Q-ID), il secondo calendario essendo letto con la stessa cadenza di scrittura per estrarre un indicatore della coda trasmissiva (QUj) che verrà effettivamente servita al tempo cella attuale (TNOW).

10. Metodo di multiplexing statistico secondo la rivendicazione 7, caratterizzato dal fatto che detta inserzione in un primo calendario di un indicatore di blocco (B-ID) è svolta in parallelo a detta estrazione.

11. Metodo di multiplexing statistico secondo la rivendicazione 9, o 10,



caratterizzato dal fatto che detta inserzione in un secondo calendario di un indicatore di coda trasmissiva (Q-ID) è svolta in parallelo a detta estrazione.

12. Metodo di multiplexing statistico secondo una delle rivendicazioni da 7 a 11, caratterizzato dal fatto che detti indicatori (B-ID, Q-ID) estratti da una comune locazione (N-SLOT-B, N-SLOT-Q) di un rispettivo calendario, sono estratti secondo la metodologia FIFO.

13. Multiplexer statistico di flussi di celle ATM originati da connessioni aventi classi di servizio di diversa qualità, detti flussi generando code trasmissive di celle (QUj) ripartite entro blocchi funzionali selezionati per il servizio, e ad almeno alcuni di detti flussi essendo assegnata una banda minima garantita sul flusso multiplato (LINK-OUT), e la possibilità di ripartire una banda residua eventualmente disponibile sullo stesso flusso, comprendente:

- a) un buffer di memorizzazione di dette code trasmissive (QUj) di celle ATM;
- b) mezzi che controllano l'accesso al buffer per l'inserimento o l'estrazione di dette celle;
- c) mezzi di conteggio del numero di celle comprese in ciascuna detta coda trasmissiva;
- d) mezzi di esecuzione di una tecnica nota, detta in seguito di Weighted Fair Queuing, o WFQ, che assegnano dinamicamente opportune quantità di gettoni, valutate su base statistica, a delle singole code trasmissive (QUj), che spendono detti gettoni per accedere alla banda residua sul flusso multiplato (LINK-OUT), **caratterizzato dal fatto che** detti mezzi di esecuzione della tecnica WFQ sono modificati (WFQ-CONTR, WFQ-B, WFQ-Q) in modo da assegnare dinamicamente opportune quantità di gettoni, valutate su base statistica, anche ai detti blocchi funzionali (Bi,...,Bm), che spendono detti gettoni per consentire alle proprie code trasmissive (QUj) di accedere alla ripartizione della banda residua sul flusso multiplato (LINK-OUT), ripartendo in tal modo tra i detti blocchi funzionali (Bj) la banda residua

sul flusso multiplato.

14. Multiplexer statistico secondo la rivendicazione 13, caratterizzato dal fatto che detti mezzi modificati di esecuzione della tecnica WFQ (WFQ-CONTR, WFQ-B, WFQ-Q) comprendono:

- a) una prima struttura di memorizzazione (TK-CNT1,...,TK-CNTm) a disposizione di ciascuna coda trasmissiva (QUj) per memorizzare un rispettivo numero di gettoni ( $N^{\circ}TK(QU1), \dots, N^{\circ}TK(QUz)$ ) proporzionale alla banda dei rispettivi detti flussi, detta prima struttura di memorizzazione (TK-CNT1,...,TK-CNTm) essendo utilizzabile come insieme di contatori;
- b) una seconda struttura di memorizzazione (TK-CNT-B) a disposizione di ciascuno di detti blocchi funzionali (B1, ..., Bm) per memorizzare un rispettivo numero di detti gettoni ( $N^{\circ}TK(B1), \dots, N^{\circ}TK(Bm)$ ) proporzionale alla banda cumulativa dei rispettivi flussi componenti, detta seconda struttura di memorizzazione (TK-CNT-B) essendo utilizzabile come insieme di contatori;
- c) un primo insieme di memorie FIFO aventi differenti priorità di servizio (WFQ-B), utilizzabili per la memorizzazione di indicatori (B-ID) dei blocchi funzionali (Bi,...,Bm);
- d) secondi insiemi di memorie FIFO aventi differenti priorità di servizio (WFQ-Q), singolarmente utilizzabili per la memorizzazione di indicatori (Q-ID) delle code trasmissive (QUj) che appartengono ad un rispettivo detto blocco funzionale (Bj);
- e) una unità di controllo (WFQ-CONTR) connessa alla prima (TK-CNT1,...,TK-CNTm) e seconda (TK-CNT-B) struttura di memorizzazione riservate ai gettoni, al detto primo (WFQ-B) e secondi insiemi di memorie FIFO (WFQ-Q) riservate agli indicatori, detta unità di controllo (WFQ-CONTR) essendo governata da un programma che assegna le rispettive dette quantità di gettoni e ne regola il consumo.

15. Multiplexer statistico secondo la rivendicazione 14, caratterizzato dal

fatto che detto primo insieme di memorie FIFO (WFQ-B) e ciascun secondo insieme di memorie FIFO (WFQ-Q) aventi differenti priorità di servizio, singolarmente comprendono una memoria FIFO ad alta priorità (HP-FIFO), una memoria FIFO a bassa priorità (LP-FIFO), ed una memoria FIFO a bassissima priorità (VLP-FIFO).

16. Multiplexer statistico secondo una delle rivendicazioni da 13 a 15, caratterizzato dal fatto che detti mezzi modificati di esecuzione della tecnica WFQ (WFQ-CONTR, WFQ-B, WFQ-Q) ulteriormente comprendono un contatore del tempo reale che viene inizializzato da detta unità di controllo (WFQ-CONTR) con un valore prefissato, decrementato ad ogni tempo-cella ( $T_c$ ), e quindi reinizializzato dopo ogni azzeramento, ripetendo ciclicamente le fasi anzidette; il contatore del tempo reale essendo utilizzato dall'unità di controllo (WFQ-CONTR) per rinnovare, ad ogni inizializzazione del suddetto contatore, la scrittura del numero iniziale di detti gettoni riservati ai blocchi funzionali ( $B_i, \dots, B_m$ ) ed alle code trasmissive ( $QU_j$ ), rispettivamente entro la prima (TK-CNT1, ..., TK-CNTm) e seconda (TK-CNTB) struttura di memorizzazione e conteggio.

17. Multiplexer statistico secondo la rivendicazione 16, caratterizzato dal fatto che ad ogni inizializzazione del detto contatore del tempo reale la detta unità di controllo (WFQ-CONTR) rinnova il contenuto di dette memorie FIFO ad alta (HP-FIFO), bassa (LP-FIFO), e bassissima (VLP-FIFO) priorità appartenenti a detto primo (WFQ-B) e secondi insiemi (WFQ-Q) di memorie FIFO.

18. Multiplexer statistico secondo la rivendicazione 17, caratterizzato dal fatto che durante ciascun detto periodo di rinnovo ( $T_r$ ) la detta unità di controllo (WFQ-CONTR) scandisce, con cadenza di cella ( $T_c$ ) e sulla base dei gettoni disponibili, il detto primo insieme di memorie FIFO (WFQ-B) per l'emissione di un indicatore (B-ID) per la selezione di un blocco funzionale ( $B_j$ ) avente almeno una coda

da servire.

19. Multiplexer statistico secondo la rivendicazione 18, caratterizzato dal fatto che durante ciascun detto periodo di rinnovo ( $T_r$ ) la detta unità di controllo (WFQ-CONTR) scandisce, con cadenza di cella ( $T_c$ ) e sulla base dei gettoni disponibili, un detto secondo insieme di memorie FIFO (WFQ-Q) associato ad un blocco funzionale ( $B_j$ ) selezionato, per l'emissione di un indicatore (Q-ID) di una coda trasmissiva (QUj) abilitata a trasmettere una cella sul flusso multiplato (LINK-OUT).

20. Multiplexer statistico secondo una delle rivendicazioni da 13 a 19, dove dette connessioni aventi classi di servizio di diversa qualità ne comprendono alcune per cui è garantita la cell-rate di picco, e che comportano quindi flussi i quali non hanno la possibilità di fruire di detta ulteriore banda eventualmente disponibile sul detto flusso multiplato (LINK-OUT), detti flussi alla rate di picco generando code trasmissive allocate in un unico blocco, caratterizzato dal fatto che detta unità di controllo (WFQ-CONTR) è ulteriormente connessa ad un dispositivo (RT-FLAG) indicatore dello stato di riempimento di detto unico blocco in modo tale per cui le code trasmissive di detto unico blocco vengono prioritariamente servite fino a quando detto dispositivo indicatore (RT-FLAG) è attivo.

21. Multiplexer statistico secondo una delle rivendicazioni da 13 a 20, dove alcune di dette connessioni sono sostenute da flussi di celle ATM che necessitano di un controllo della banda di picco tale da non permettere il superamento di un certo valore massimo di banda entro il detto flusso multiplato (LINK-OUT), caratterizzato dal fatto di comprendere primi mezzi di temporizzazione (SHAPER-B, SCHEDULER-B) che dilatano gli intervalli di emissione di almeno alcuni detti indicatori (B-ID) dei blocchi funzionali ( $B_j$ ) per limitare la banda di picco cumulativa del gruppo di connessioni appartenenti ai blocchi selezionati.



22. Multiplexer statistico secondo la rivendicazione 21, caratterizzato dal fatto che detti primi mezzi di temporizzazione (SHAPER-B, SCHEDULER-B) comprendono un primo sagomatore di traffico (SHAPER-B) posto a monte di un primo schedulatore con meccanismo a calendario (SCHEDULER-B), detto primo sagomatore (SHAPER-B) calcolando ad ogni tempo cella ( $T_c$ ) una locazione d'inserzione (N-SLOT-B) nel primo calendario di un indicatore (B-ID) di un blocco selezionato e scrivendo l'indicatore (B-ID) nel primo calendario alla locazione calcolata, e detto primo schedulatore (SCHEDULER-B) leggendo il primo calendario con la stessa cadenza di scrittura per estrarre un indicatore (B-ID) del blocco ( $B_j$ ) che verrà effettivamente servito al tempo cella attuale (TNOW).

23. Multiplexer statistico secondo la rivendicazione 21, o 22, caratterizzato dal fatto che inoltre comprende secondi mezzi di temporizzazione (SHAPER-Q, SCHEDULER-Q) che dilatano gli intervalli di emissione di almeno alcuni detti indicatori (Q-ID) delle code trasmissive (QUj) per limitare la banda di picco delle code servite.

24. Multiplexer statistico secondo la rivendicazione 23, caratterizzato dal fatto che detti secondi mezzi di temporizzazione (SHAPER-Q, SCHEDULER-Q) comprendono un secondo sagomatore di traffico (SHAPER-Q) posto a monte di un secondo schedulatore con meccanismo a calendario (SCHEDULER-Q), detto secondo sagomatore (SHAPER-Q) calcolando ad ogni tempo cella ( $T_c$ ) una locazione d'inserzione (N-SLOT-Q) nel secondo calendario di un indicatore (Q-ID) di coda trasmissiva da servire e scrivendo l'indicatore (Q-ID) nel secondo calendario alla locazione calcolata, e detto secondo schedulatore (SCHEDULER-Q) leggendo il secondo calendario con la stessa cadenza di scrittura per estrarre un indicatore (Q-ID) della coda trasmissiva (QUj) che verrà effettivamente servita al tempo cella attuale (TNOW).

Il Mandatario  
Delio Giustini

25. Multiplexer statistico secondo la rivendicazione 22, caratterizzato dal fatto che detto primo sagomatore (SHAPER-B) opera in parallelo al detto primo schedulatore (SCHEDULER-B).

26. Multiplexer statistico secondo la rivendicazione 24, o 25, caratterizzato dal fatto che detto secondo sagomatore (SHAPER-Q) opera in parallelo al detto secondo schedulatore (SCHEDULER-Q).

27. Multiplexer statistico secondo una delle rivendicazioni da 22 a 26, caratterizzato dal fatto che detti indicatori (B-ID, Q-ID) estratti da una comune locazione (N-SLOT-B, N-SLOT-Q) di un rispettivo calendario, sono estratti secondo la metodologia FIFO.

Italtel spa  
Il Mandatario  
Delio Giustini



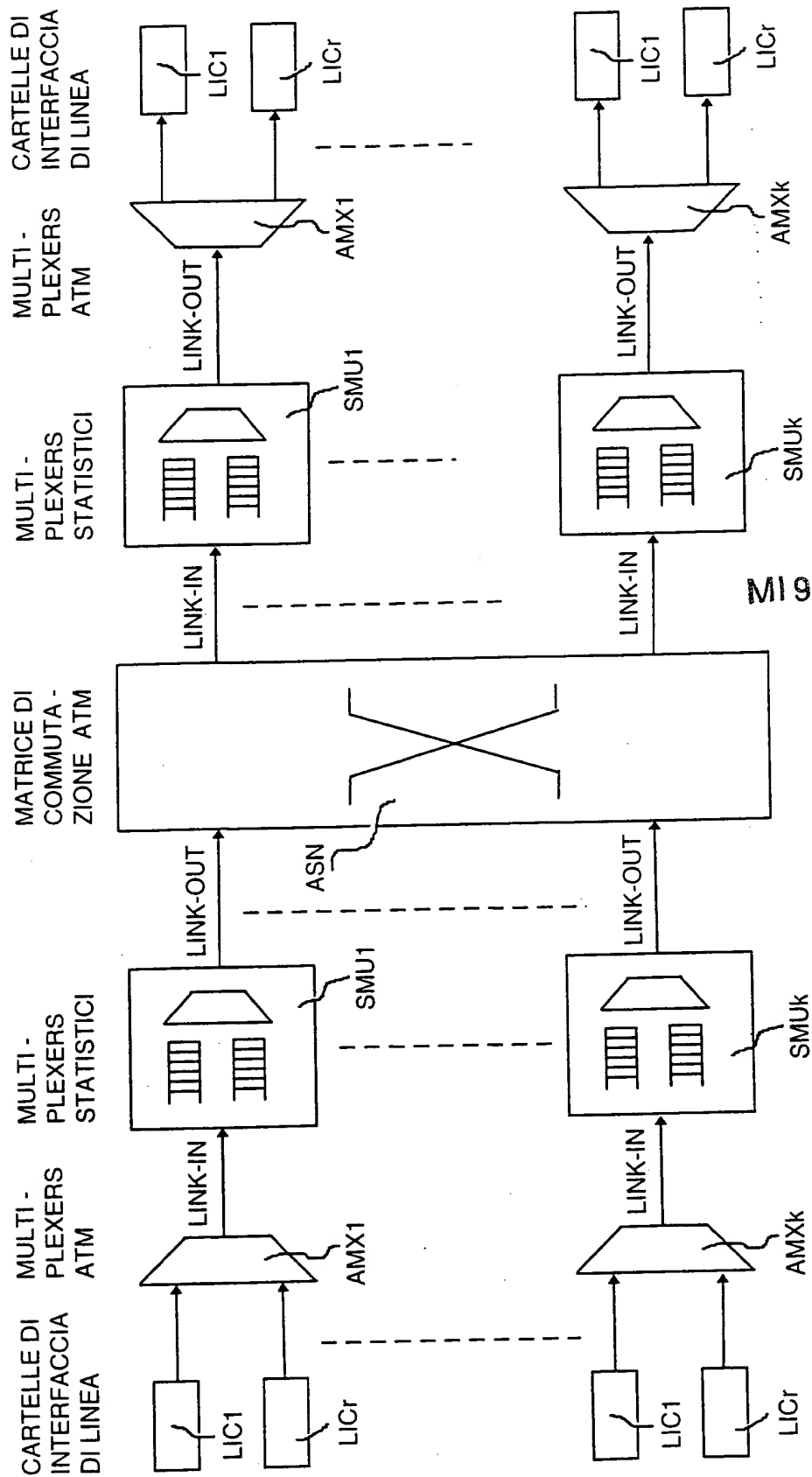


FIGURA 1

MI9 8 A 002555



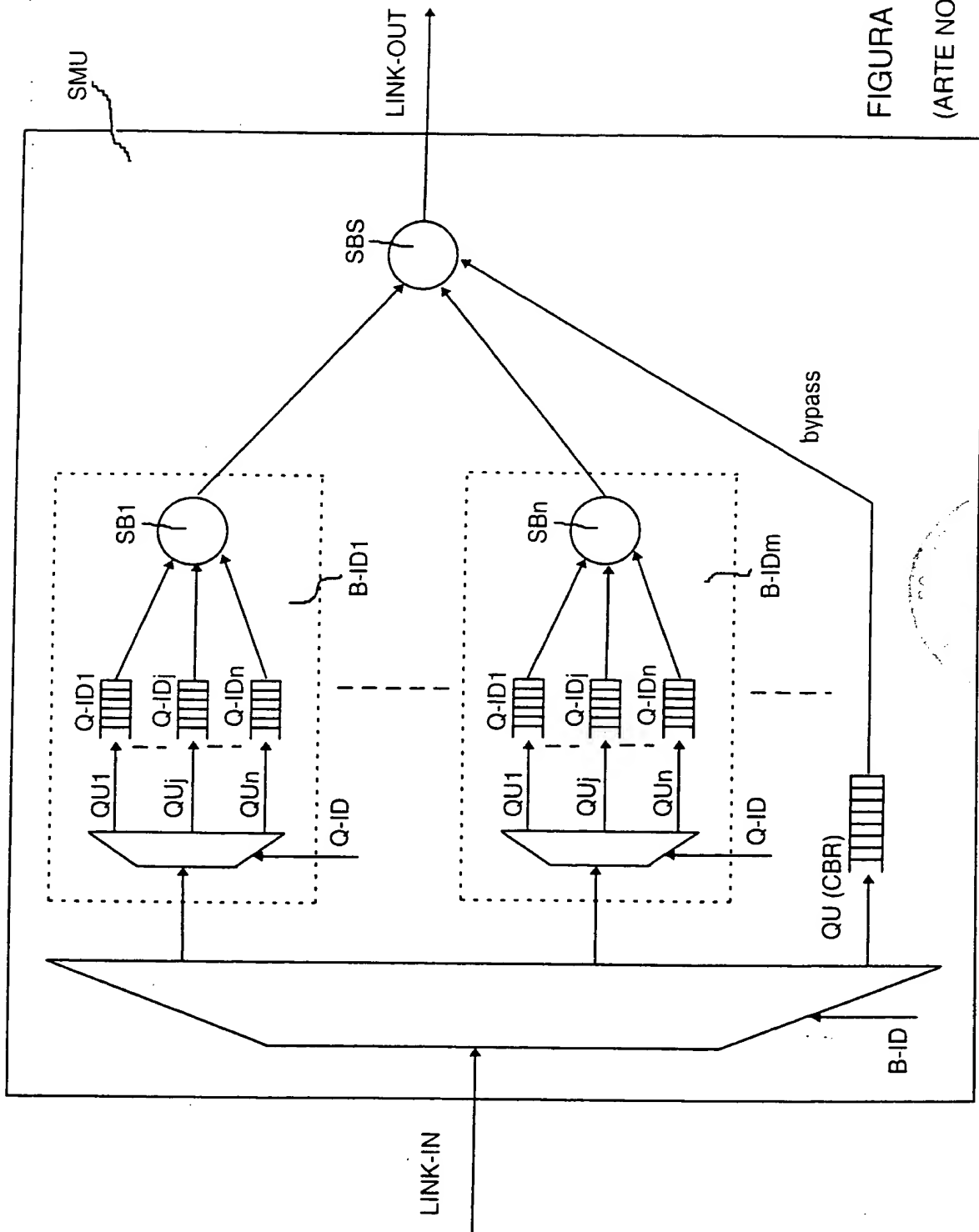


FIGURA 4  
(ARTE NOTA)



italtel spa  
mazzorata  
030 300010

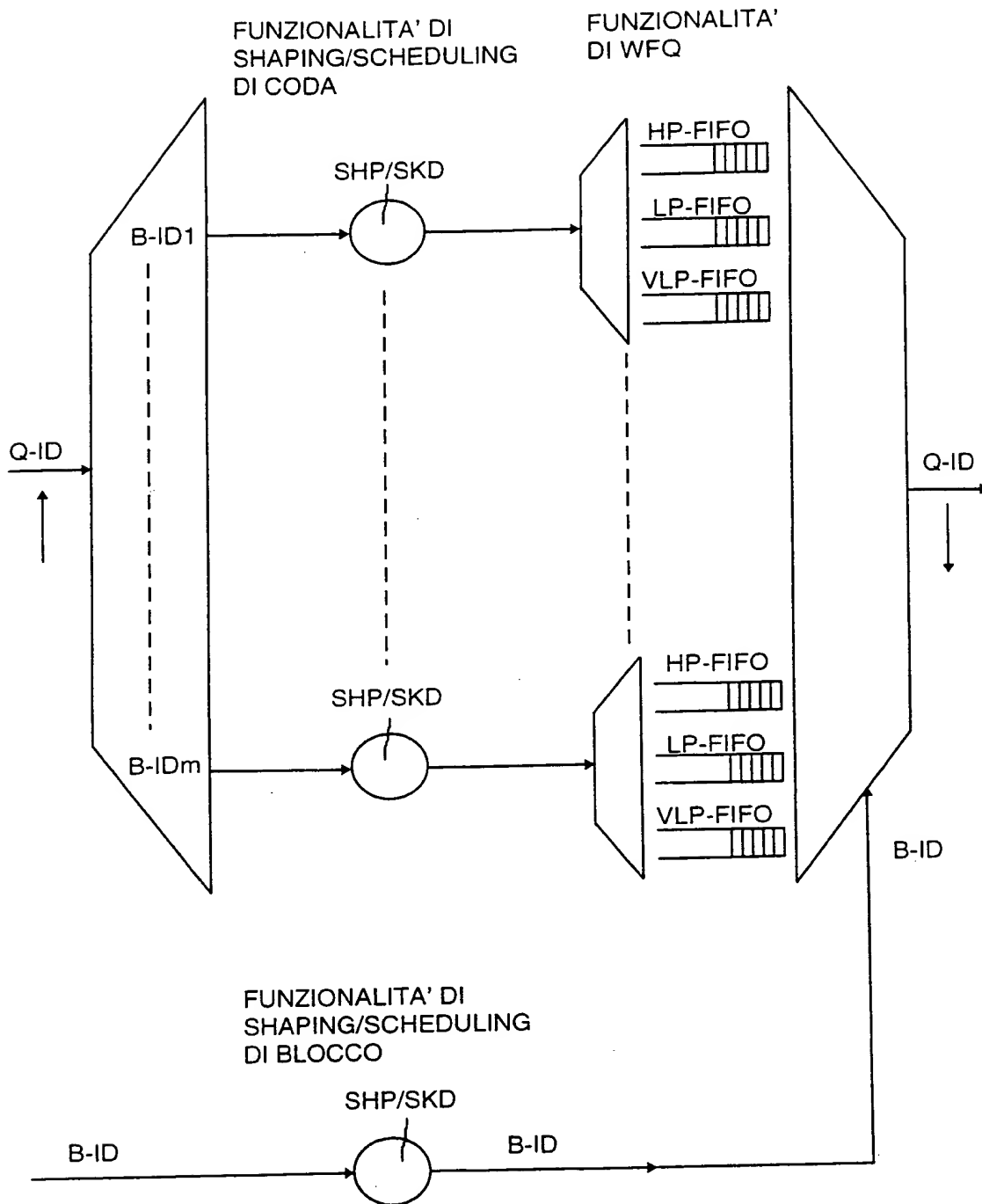


FIGURA 5  
(ARTE NOTA)

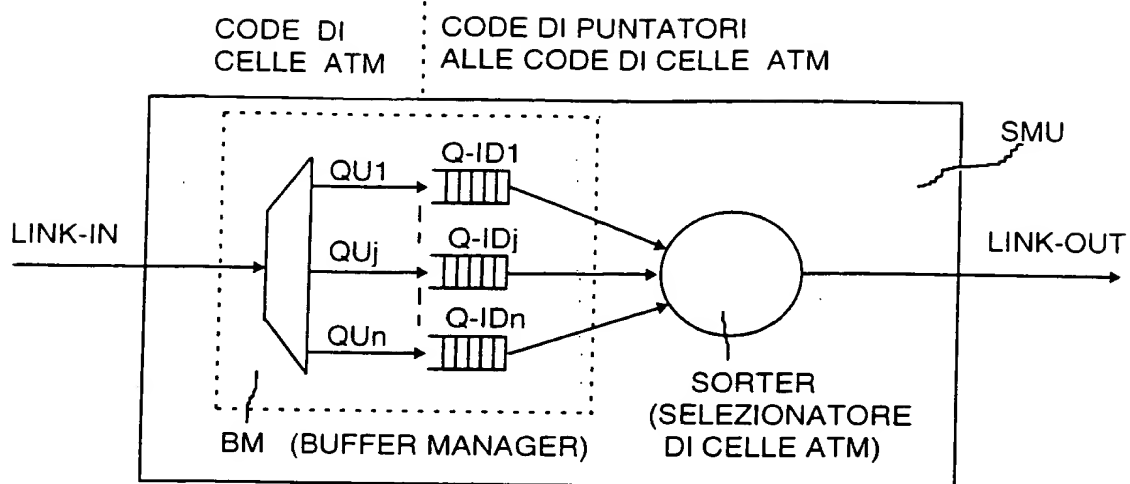


FIGURA 2

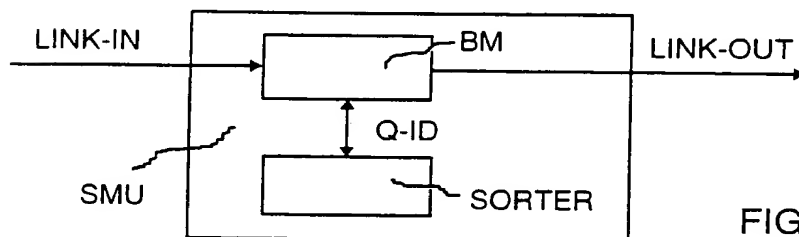


FIGURA 3

MI 9 8 A 0 0 2 5 5 5

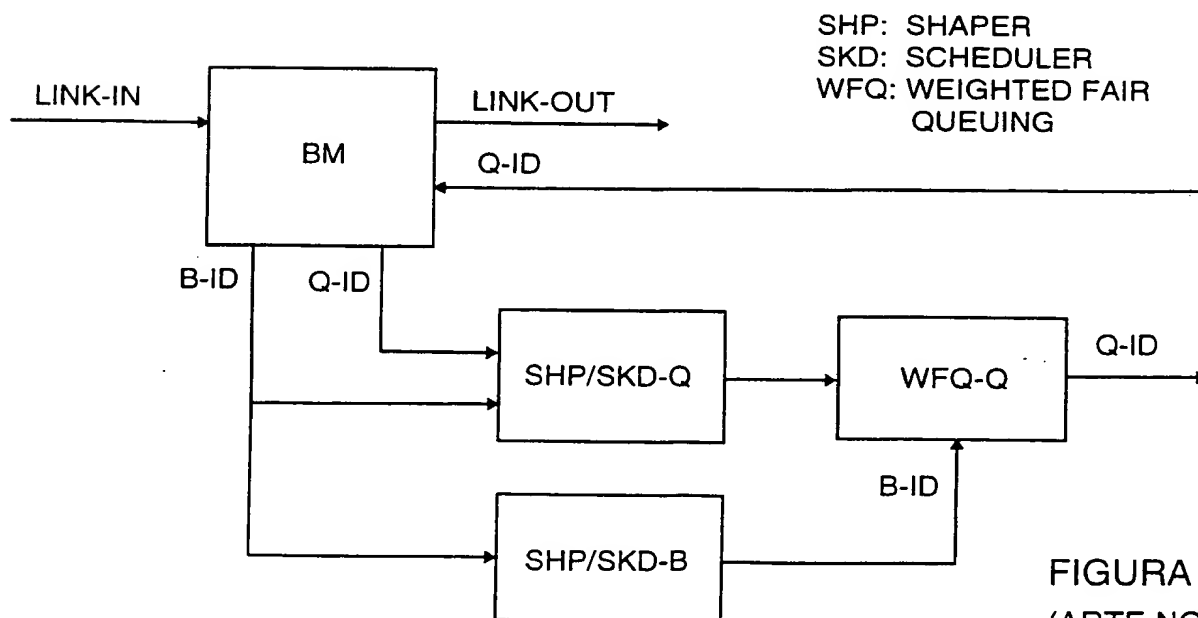


FIGURA 6  
(ARTE NOTA)

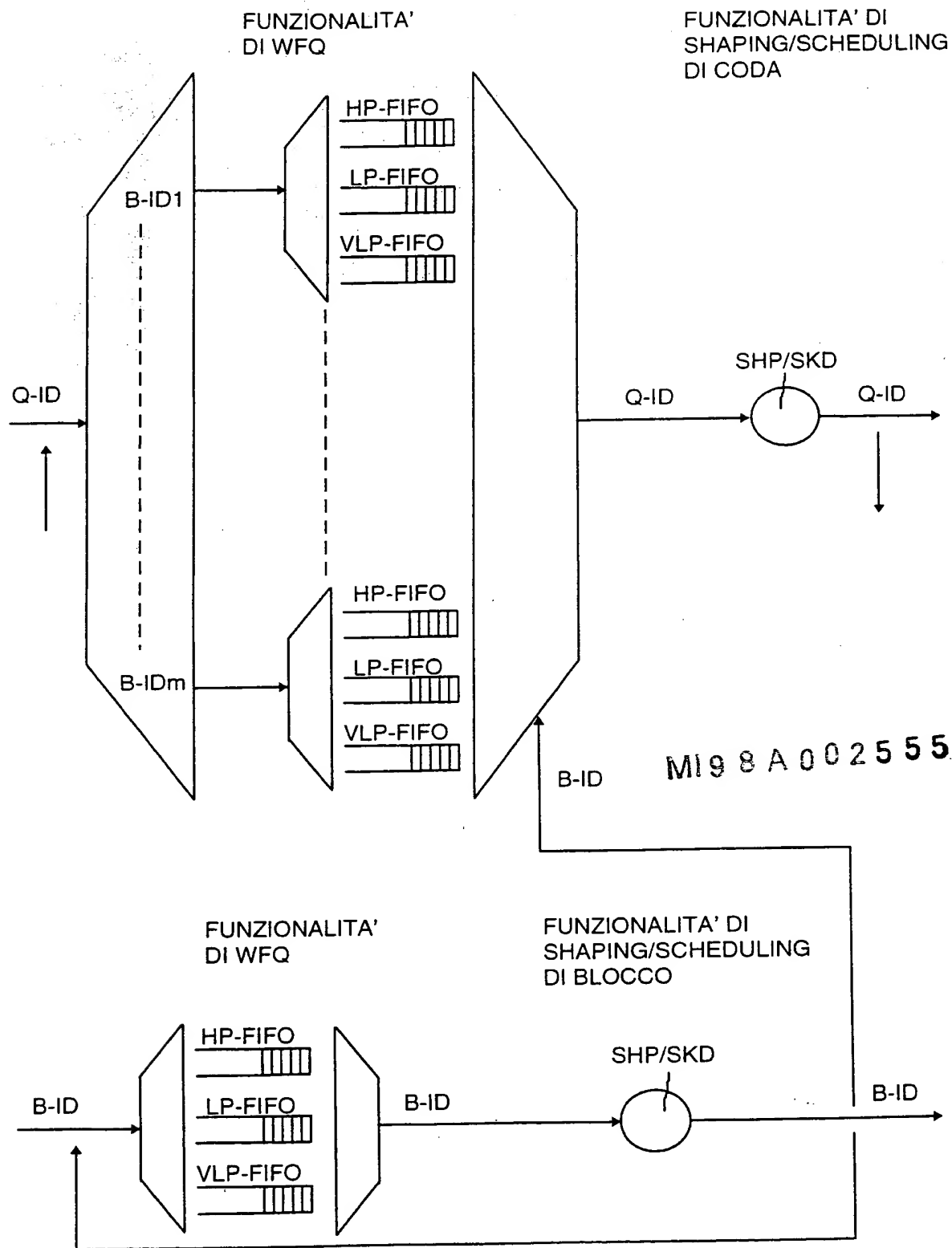


FIGURA 7

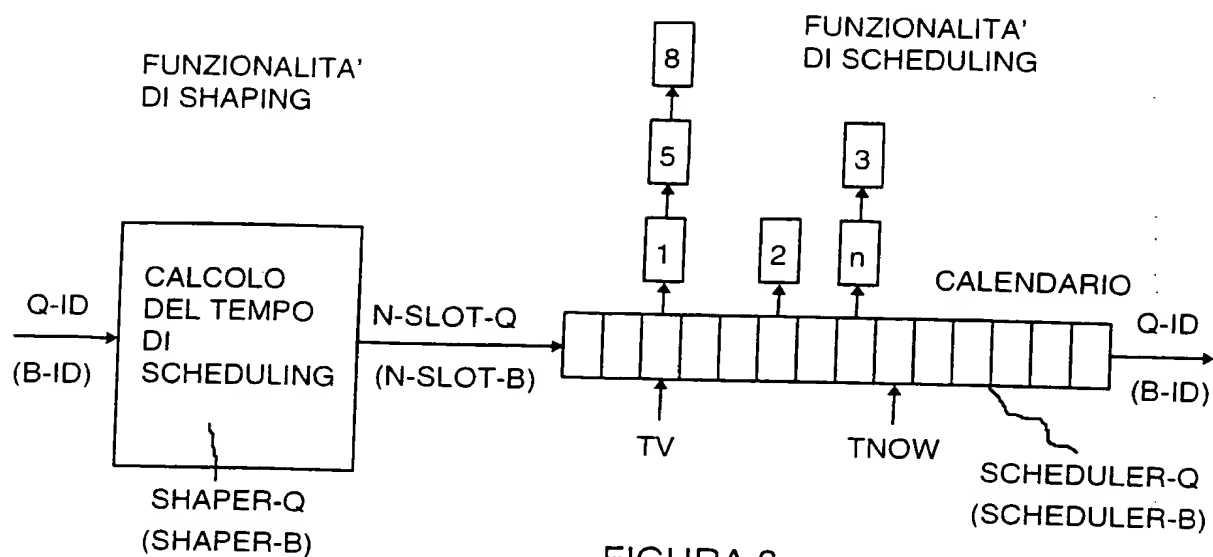
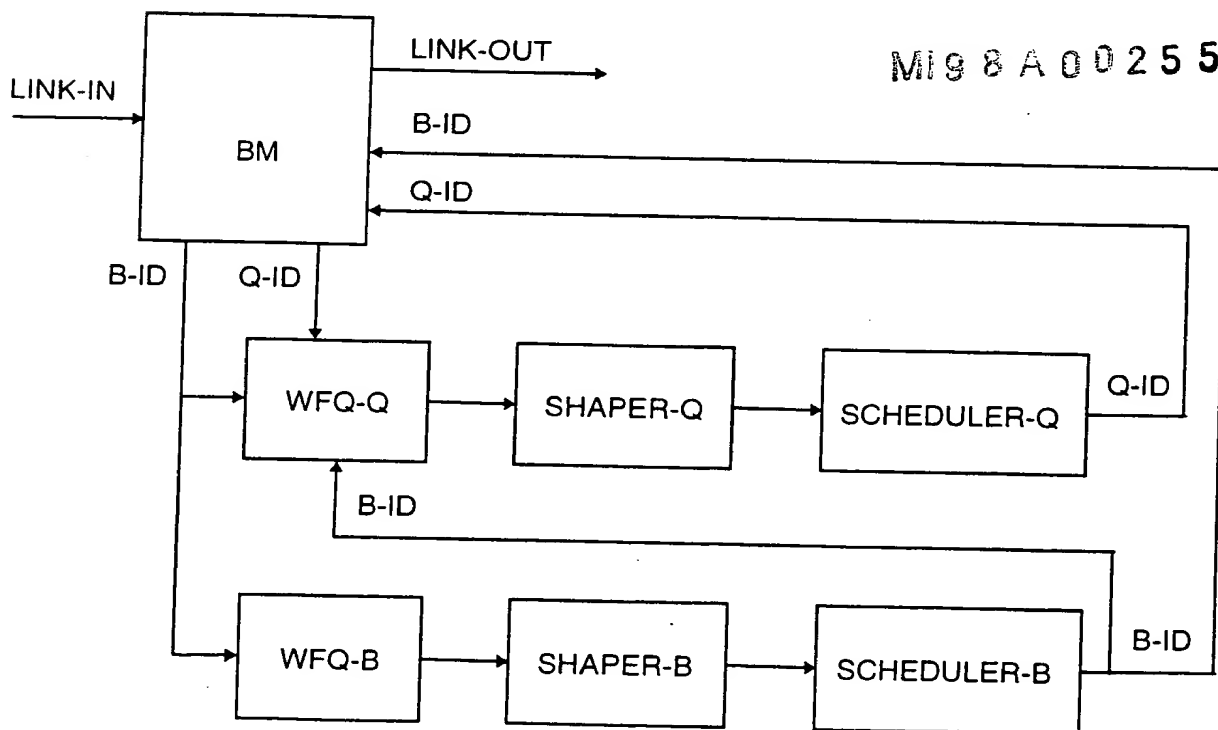


FIGURA 8



MIG 8 A 002555

FIGURA 9

italtel  
mandatarie  
Bene G...

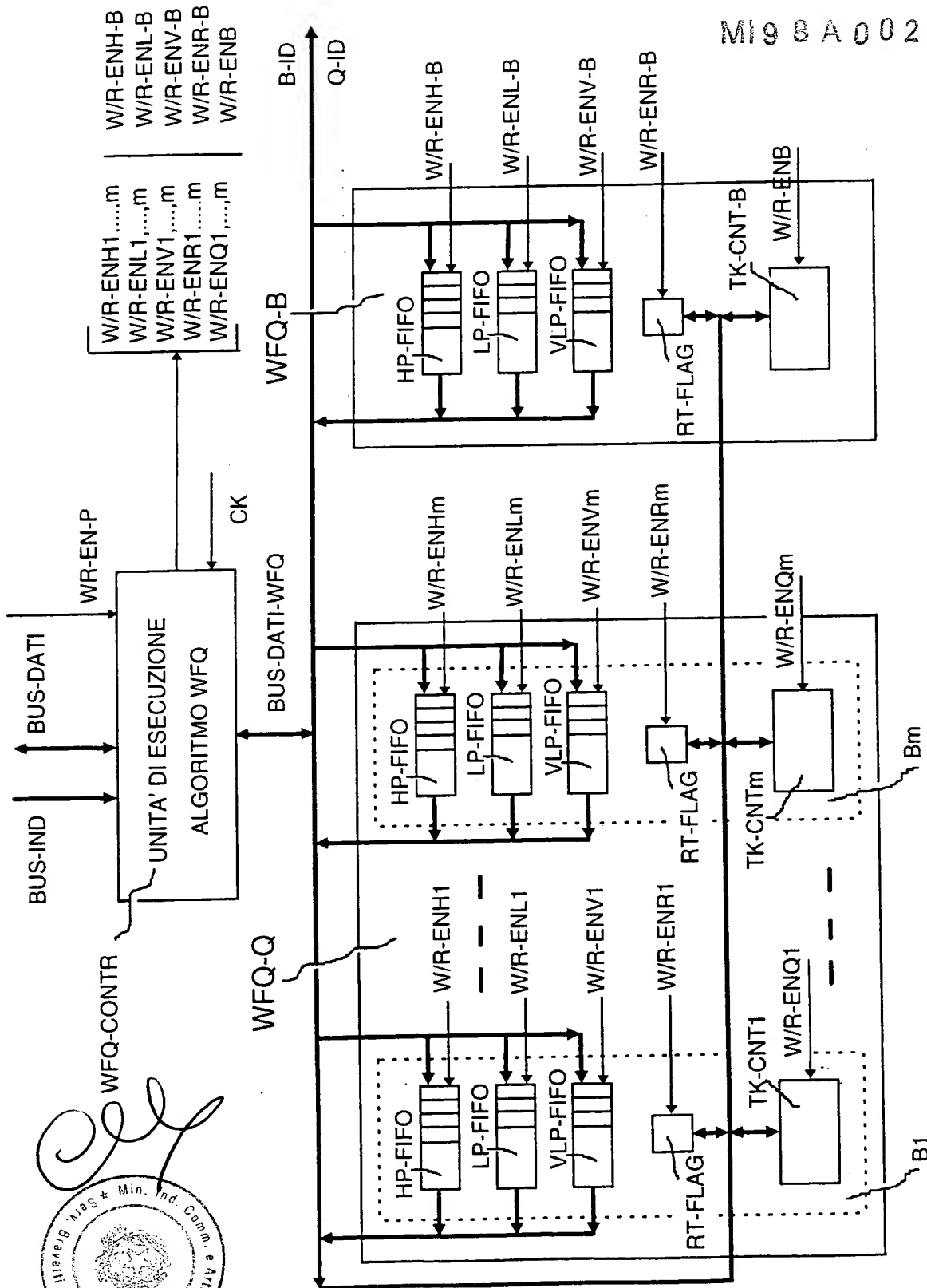
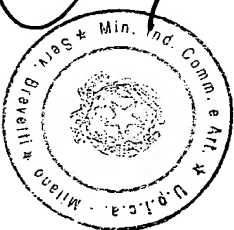


FIGURA 11



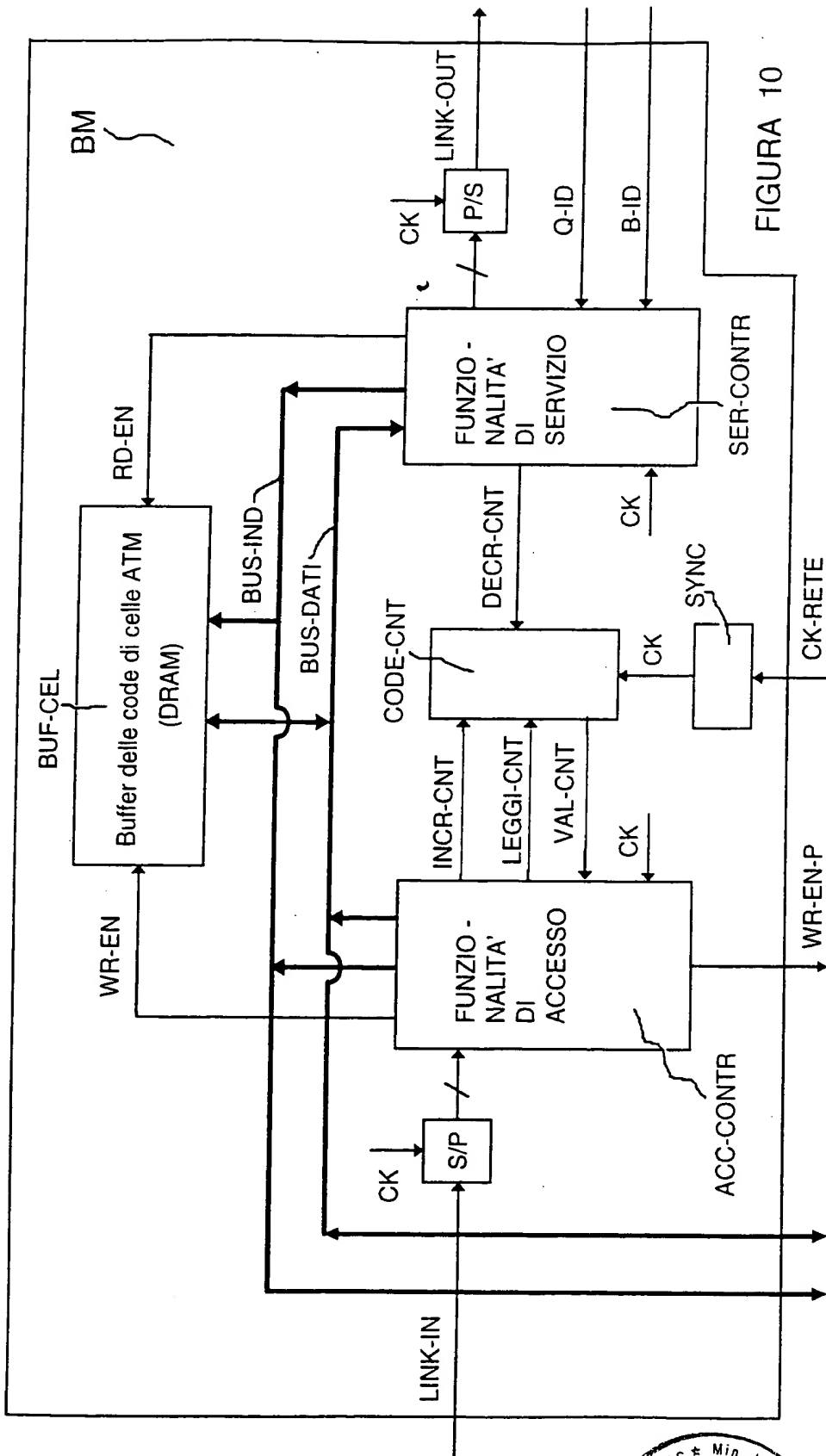


FIGURA 10

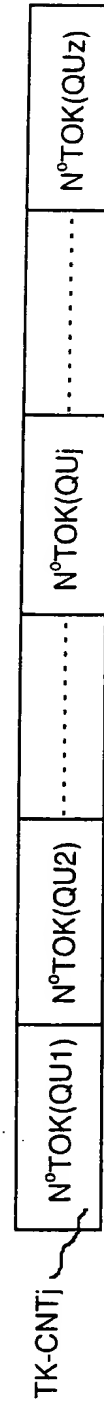
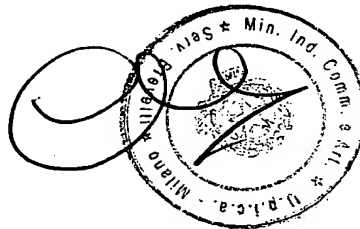
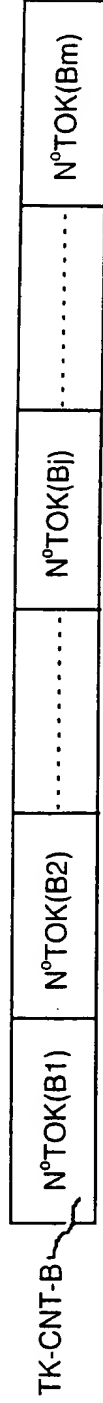


FIGURA 12



Italtel spa  
Milano

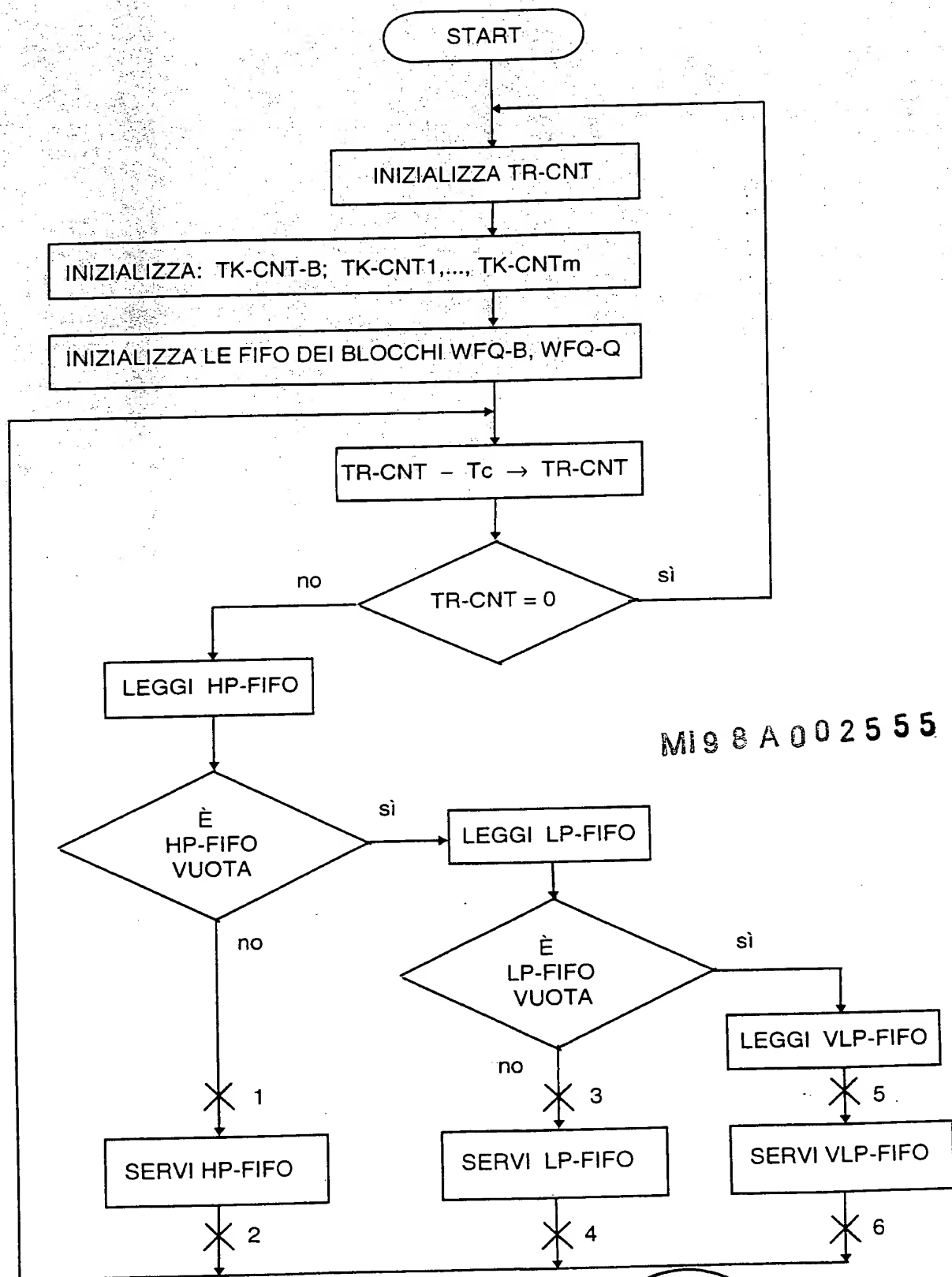
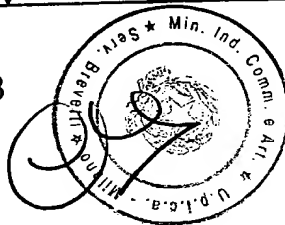
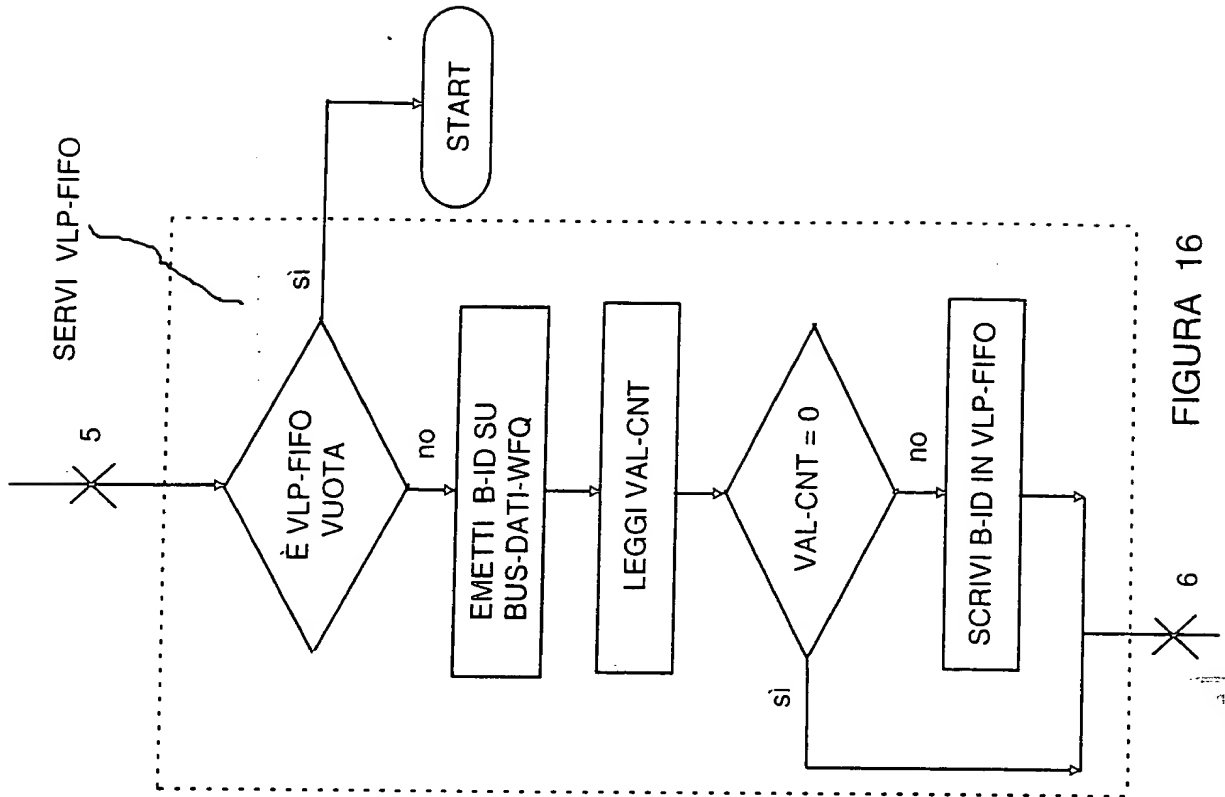
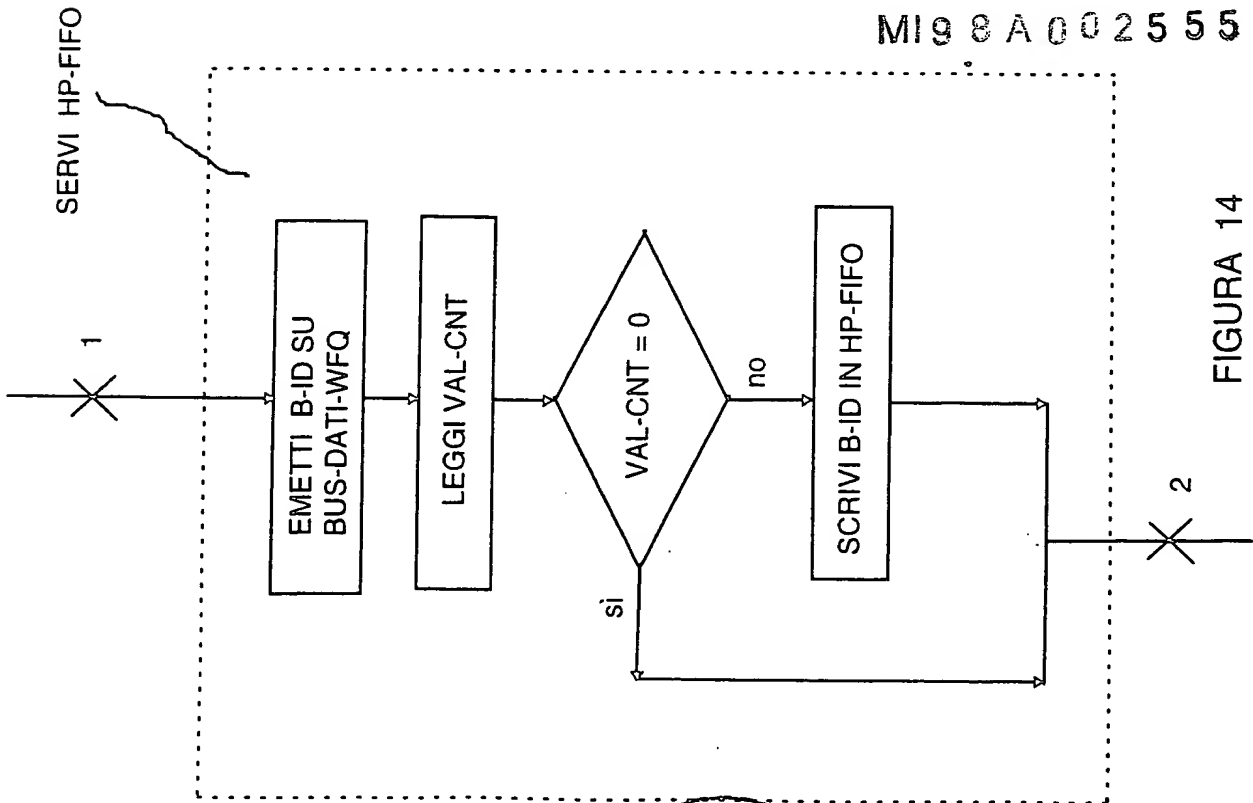


FIGURA 13

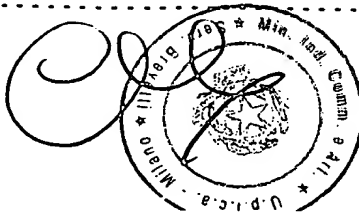


Italtel spa  
 DIREZIONE GENERALE  
 Emilio Giulio





MI98A002555



Italtel spa  
Monza  
Oelco S.p.A.

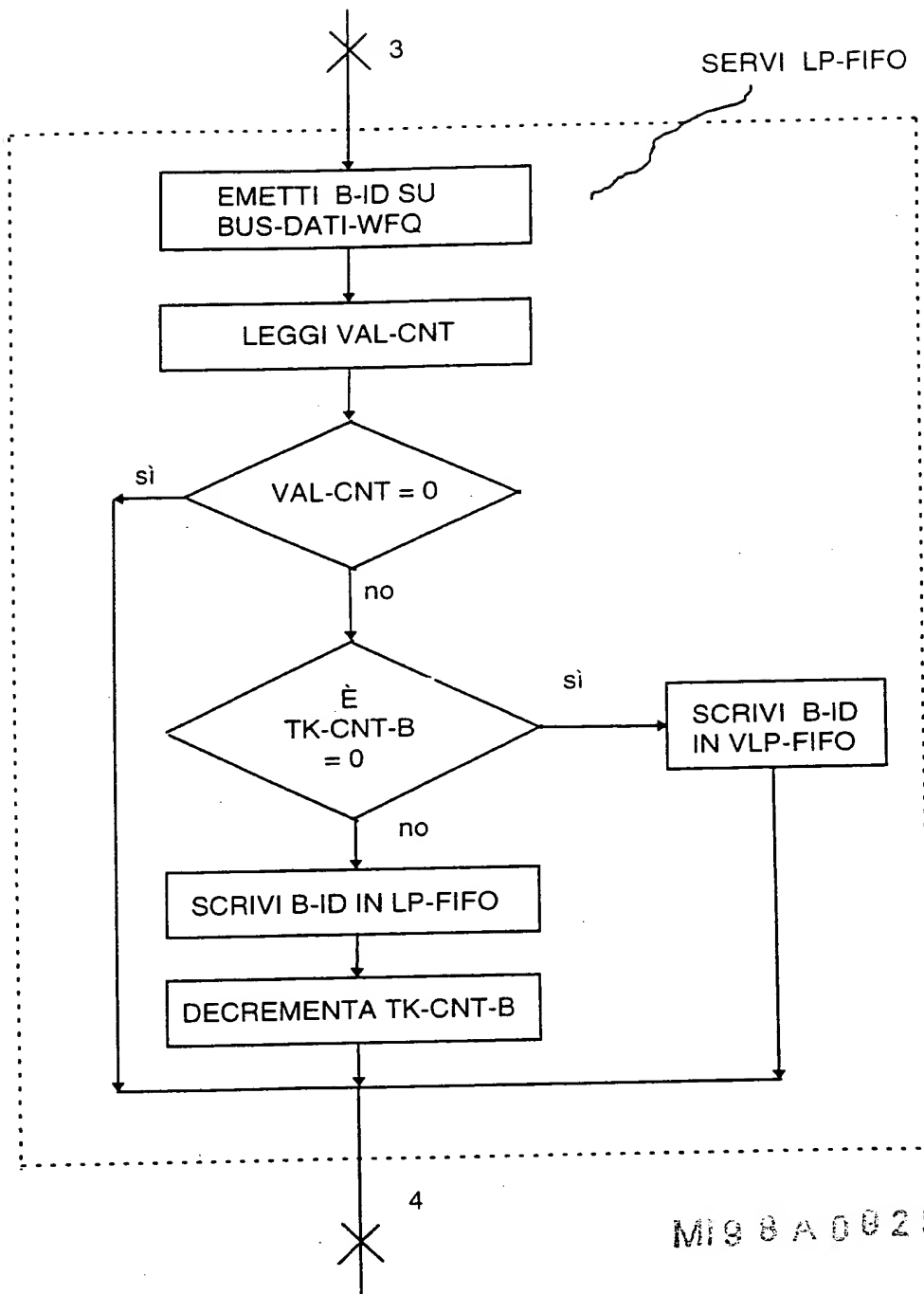
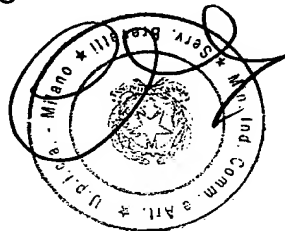
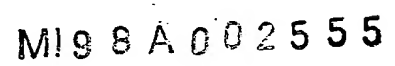


FIGURA 15



Italtel spa  
Materie  
[Signature]



*[Handwritten signature]*

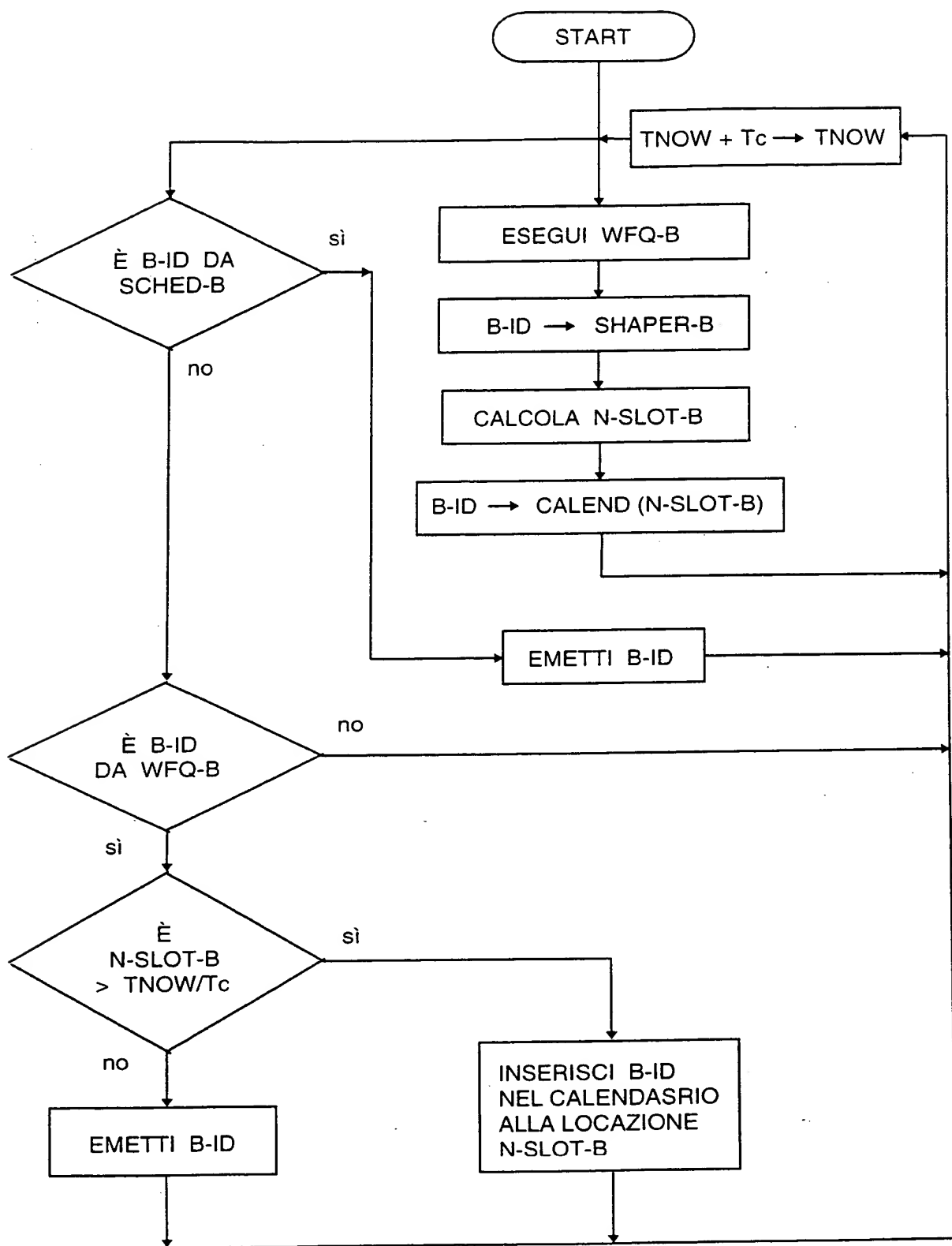
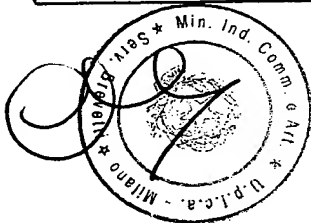


FIGURA 18

MI98A002555



Italtel spa  
 di mandataria  
 della D.L.

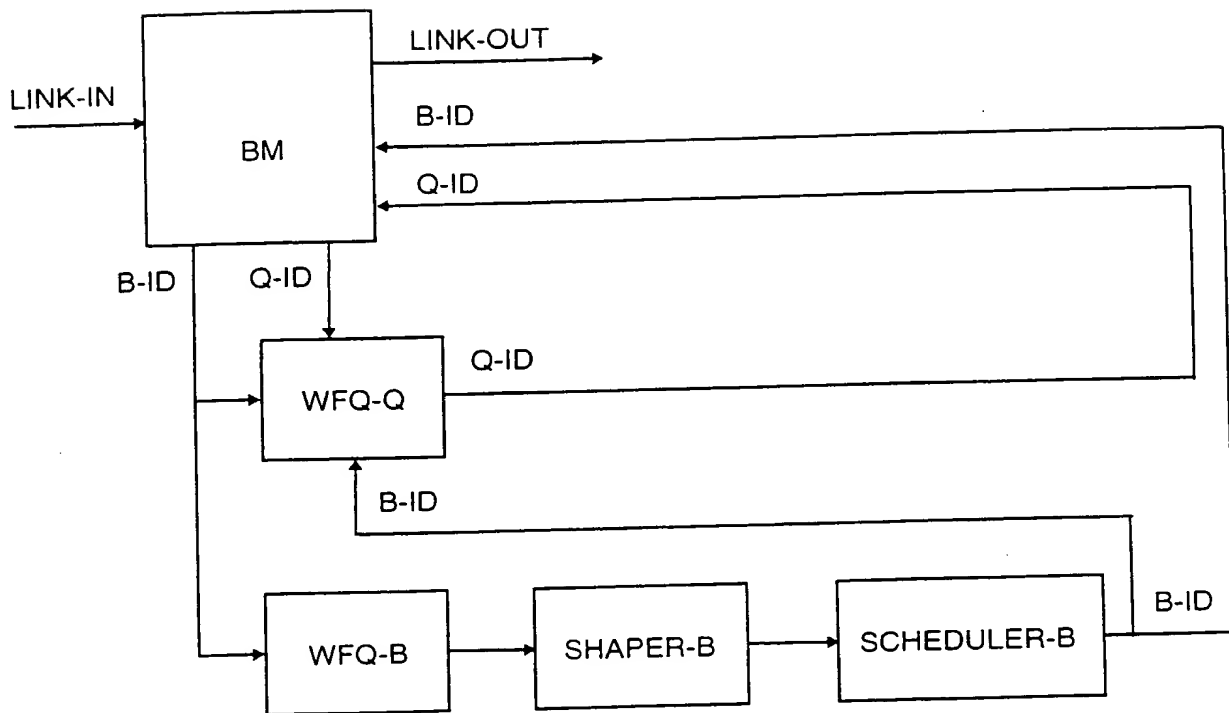


FIGURA 19

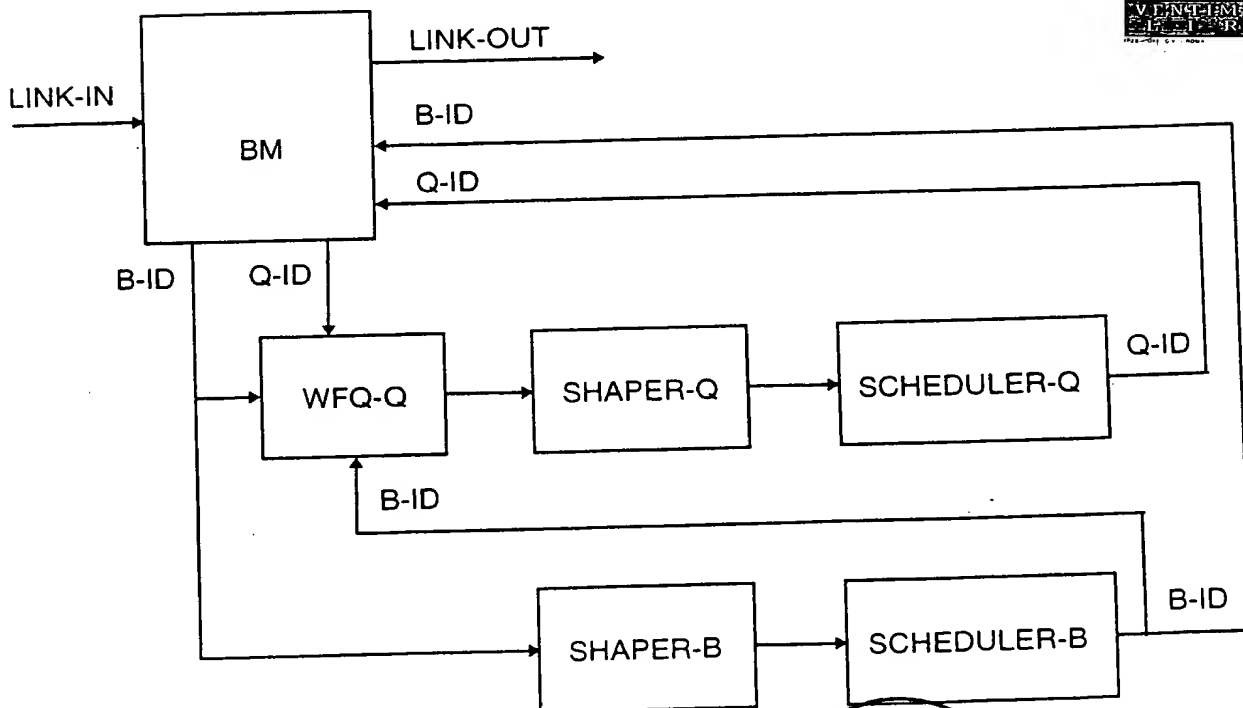
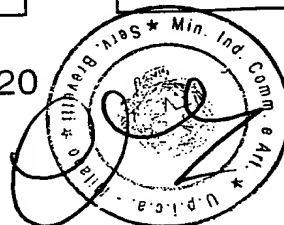


FIGURA 20

M198A002555



Italtel spa  
 Direzione Generale  
 Oello Giustina

